



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK  
MIKROZONASI KABUPATEN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA**

**Deviana Ambarsari**

**NRP 1113100038**

**Dosen Pembimbing**

**Prof. Dr. rer.nat. Bagus Jaya Santosa, S.U**

**Sulistiyani S.si**

**DEPARTEMEN FISIKA**

**Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

**Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Surabaya 2017**



**TUGAS AKHIR - SF 141501**

**ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR  
UNTUK MIKROZONASI KABUPATEN GUNUNGKIDUL  
YOGYAKARTA**

**Deviana Ambarsari  
NRP 1113 100 038**

**Dosen Pembimbing  
Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Sentosa, S.U  
Sulistyani S.si**

**Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2017**





**FINAL PROJECT - SF 141501**

## **MICROTREMOR ANALYSIS FOR MICROZONATION IN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA USING HVSR METHOD**

**Deviana Ambarsari  
NRP 1113 100 038**

**Advisors**

**Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Sentosa, S.U  
Sulistyani S.si**

**Departement of Physics  
Faculty of Matematics and Natural Science  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya 2017**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KABUPATEN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelara Sarjana Sains pada  
Bidang Studi Fisika Bumi  
Program Studi S-1 Departemen Fisika  
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :  
**Deviana Ambarsari**  
**1113 100 038**

**Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :**

**Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya Sentosa, S.U**

(.....)

**Sulistiyani, S.si**

(.....)



# **ANALISIS MIKROTREMOR DENGAN METODE HVSR UNTUK MIKROZONASI KABUPATEN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA**

**Nama** : Deviana Ambarsari  
**NRP** : 1113 100 038  
**Departemen** : Fisika, FMIPA – ITS  
**Pembimbing** : 1. Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya  
Santosa, S.U  
2. Sulistiyani, S.Si

## **Abstrak**

Yogyakarta termasuk daerah yang rentan terkena ancaman gempabumi akibat sesar lokal didaratan. Sesar Opak merupakan sesar yang berada di Yogyakarta diduga penyebab gempa tahun 2006 silam. Salah satu faktor pemicu kerusakan akibat gempabumi adalah karakteristik dinamika tanah. Kabupaten Gunungkidul terletak dekat zona Sesar Opak. Pengukuran data mikrotremor dilakukan di Kabupaten Gunungkidul untuk mengetahui parameter dinamika karakteristik tanah berdasarkan frekuensi natural ( $f_0$ ), periode dominan ( $T_0$ ), ketebalan sedimen ( $h$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ), dan percepatan getaran tanah maksimum (PGA). Analisis data mikrotremor menggunakan metode HVSR dengan *software* geopsy untuk mendapatkan dua parameter utama yaitu  $f_0$  dan  $A_0$ . Selanjutnya menghitung nilai  $T_0$ ,  $K_g$ , dan PGA menggunakan metode Kanai dengan parameter periode dominan tanah dan referensi gempa Yogyakarta tahun 2006. Hasil penelitian menunjukkan bahwa berdasarkan enam parameter karakteristik dinamika tanah, daerah yang berpotensi mengalami kerusakan yang lebih tinggi berada di sisi sebelah barat Kabupaten Gunungkidul. Kecamatan Playen, Kecamatan Paliyan, dan Kecamatan Wonosari termasuk dalam daerah yang berpotensi mengalami kerusakan yang tinggi apabila

terjadi gempa dengan nilai percepatan getaran tanah maksimum kisaran 393,74 gal - >551,68 gal.

***Kata kunci:*** *HVSR, Mikrotremor, Mikrozonasi, PGA*

# **MICROTREMOR ANALYSIS FOR MICROZONATION IN GUNUNGKIDUL YOGYAKARTA USING HVSR METHOD**

**Name** : Deviana Ambarsari  
**NRP** : 1113 100 038  
**Departement** : Fisika, FMIPA – ITS  
**Advisors** : 1. Prof. Dr. rer. nat. Bagus Jaya  
Santosa, S.U  
2. Sulistiyani, S.Si

## **Abstract**

Yogyakarta is the city with earthquake risk because of local fault in field. Opak fault is located in Yogyakarta probably one of earthquake 2006 years ago. One of factor the highest destroyed effect of earthquake is soil characteristic. Gunungkidul district near from Sesar Opak. The measurement microtremor is located in Gunungkidul district, microtremor data is analysed using HVSR method with geopsy software to know soil characteristics as a natural frequency, thickness of sedimen, amplification. The result of this step to calculated the value of dominan period, vulnerability indeks and peak ground acceleration (PGA) calculated using Kanai method with dominan period of soil and reference of 2006 Yogyakarta earthquake as parameter. The result of this study shows that According the six of parameter characteristics soil microzonation in area Gunungkidul indicate the damage would be earthquake risk in Paliyan area, Playen area, Wonosari area has value of PGA greater than others area between 393,74 gal to >551,68 gal.

***Keywords: HVSR, Mikrotremor, Mikrozonasi, PGA***



## **KATA PENGANTAR**

Puji syukur tak terkira penulis panjatkan kepada Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, berkah, serta hidayah-Nya, yang telah memberikan kehidupan kepada Penulis dan telah melancarkan segala urusan sehingga penulis memiliki kesempatan untuk menyelesaikan Laporan Tugas Akhir di Jurusan Fisika FMIPA ITS dengan judul:

### **Analisis Mikrotremor dengan Metode HVSR untuk Mikrozonasi Kabupaten Gunungkidul Yogyakarta**

Penulis menyadari dengan terselesaikannya penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan dukungan dari berbagai pihak, maka pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Keluarga besar tercinta yang telah memberikan dukungan moral dan materi tiada henti. Ibu (Sunartiwi), Bapak (Bugiman), Kakak Tersayang (Dian dan Nofry)
2. Bapak Prof. Dr. rer. nat Bagus Jaya Santosa, S.U selaku dosen pembimbing tugas akhir dalam memberikan bimbingan dan wawasan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir
3. Kepada Ibu Sulis selaku pembimbing tugas akhir di BPPTKG yang begitu sabar dan memotivasi penulis selama pengerjaan Tugas Akhir di Jogja.
4. Bapak Triwikantoro selaku dosen wali yang telah memberikan saran dan nasehat kepada penulis selama semester awal hingga akhir.
5. Bapak Dr. Yono Hadi P., M. Eng dan Dr. rer. nat. Eko Minarto, selaku Ketua Jurusan dan Seketaris Jurusan Fisika FMIPA ITS yang telah memberikan kemudahan sarana selama kuliah sampai terselesainya Tugas Akhir ini.
6. Bapak Dr. Sungkono dan Bapak Heru Sukanto M.Si selaku dosen penguji sidang akhir yang telah memberikan kemurahan

hati dan menguji penulis sesuai dengan kemampuan yang penulis miliki.

7. Teman satu perjuangan yang telah membantu penulis dalam pengambilan data di BPPTKG Yogyakarta Yossita Rahardini dan Anisah Rahmaniah dan kota Yogyakarta beserta seluruh kerinduannya.
8. Kepada teman-teman penghuni lab Geofisika G-402 terimakasih atas pelajaran berharga mulai dari akademis hingga pelajaran hidup selama di jurusan Fisika.
9. Teman-teman penulis tersayang yang telah setia menemani penulis dihidupkan kampus ataupun luar kampus: Nana, Risty, teman-teman KANGENABLE: Fannisa, Sari, Fitri, Dinar, dan kosmate dari jaman udik Purbandini.
10. Segenap teman-teman Fisika 2013 (Gamma dan Supernova) yang telah memberikan semangat dan mas/mbak angkatan 2012/2011 khususnya Mbak Ratri yang telah memberi beribu wawasan dan bantuan dari jaman maba sampai mahasiswa tua.
11. Teman-teman satu organisasi Obor Bakor Pemandu ITS 16/17, teman-teman Kabinet Wahana Juang 16/17, terimakasih telah mengisi hari-hari penulis disisa akhir semester.
12. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Penulis menyadari atas keterbatasan ilmu pengetahuan dan kemampuan yang dimiliki, oleh karena itu penulis akan menerima kritik dan saran yang bersifat membangun demi kesempurnaan penulisan Tugas Akhir ini. Semoga Tugas Akhir ini bermanfaat bagi perkembangan ilmu pengetahuan serta memberikan inspirasi bagi pembaca untuk perkembangan lebih lanjut.

Surabaya, 20 Juli 2017

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL .....</b>	<b>ii</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN .....</b>	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>Abstrak .....</b>	<b>iv</b>
<b>KATA PENGANTAR.....</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI.....</b>	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR.....</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL .....</b>	<b>xiv</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Manfaat penelitian .....	4
1.6 Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....</b>	<b>5</b>
2.1 Seismotektonik dan Kondisi Geologi .....	5
2.2 Gelombang Seismik .....	8
2.2.1 Gelombang Badan.....	8
2.2.2 Gelombang Permukaan .....	9
2.3 Mikrotremor .....	11
2.4 Metode HVSr .....	11
2.5 <i>Fast Fourier Transform</i> (FFT).....	14

2.6 Mikrozonasi .....	15
2.6.1 Frekuensi Natural .....	16
2.6.2 Faktor Amplifikasi .....	19
2.6.3 Ketebalan Sedimen.....	20
2.7 Indeks Kerentanan Seismik (Kg).....	20
2.8 Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA) .....	23
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>25</b>
3.1 Peralatan .....	25
3.1.1 Peralatan Penelitian.....	25
3.1.2 Lokasi Penelitian.....	25
3.2 Tahap Penelitian .....	26
3.2.1 Studi Literatur .....	27
3.2.2 Pengumpulan Data .....	27
3.3 Pengolahan Data .....	27
3.3.1 <i>Fast Fourier Transform (FFT)</i> .....	28
3.3.2 <i>Smoothing</i> (Penghalusan Data) .....	29
3.3.3 Penggabungan komponen Horizontal dan Vertikal	30
3.3.4 Rata – rata Nilai HVSr.....	30
3.3.5 Standard Deviasi .....	30
3.3.6 Penentuan nilai frekuensi Natural dan Amplifikasi	32
3.3.7 Indeks Kerentanan Tanah.....	32
3.3.8 Nilai Percepatan Getaran Tanah (PGA) .....	33
3.3.9 Overlay Peta Lokasi Penelitian .....	33
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>	<b>35</b>
4.1 Analisa Data .....	35

4.2 Analisis Frekuensi Natural Tanah .....	38
4.3 Analisis Periode Dominan Tanah .....	41
4.4 Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen (h).....	43
4.5 Analisis Faktor Amplifikasi .....	45
4.6 Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg).....	46
4.7 Analisis Peak Ground Acceleration (PGA) .....	49
<b>BAB V .....</b>	<b>55</b>
<b>KESIMPULAN .....</b>	<b>55</b>
5.1 Kesimpulan.....	55
5.2 Saran.....	55
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>	<b>57</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>60</b>
<b>BIODATA PENULIS.....</b>	<b>79</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Peta Seismotektonik Pulau Jawa (Kertapati, Soehaimi dkk, 1998) .....	5
Gambar 2.2 Lembar Peta Geologi Gunungkidul (Surono et al.,1992) .....	7
Gambar 2.3 penjalaran gelombang P (Brailer,2004).....	9
Gambar 2.4 penjalaran gelombang S (Brailer,2004).....	9
Gambar 2.5 penjalaran gelombang Love (Brailer,2004).....	10
Gambar 2.6 Penjalaran gelombang Rayleigh (Brailer,2004) .....	11
Gambar 2.7 Model cekungan yang berisi material halus (Slob,2007).....	13
Gambar 2.8 <i>Surface ground deformation</i> (Nakamura, 2000) ....	20
Gambar 2.9 Nilai Kg pada gempabumi di area Marina San Francisco, U.S.A (Nakamura, 2000) .....	22
Gambar 3.1 Peta Lokasi daerah penelitian.....	25
Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian.....	26
Gambar 3.3 Diagram Alir kurva HVSR pada pengolahan data mikrotremor tanah.....	28
Gambar 3.3 Pengolahan data mikrotremor setelah pemilihan window.....	29
Gambar 3.4 Kurva HVSR, setiap spektrum warna menunjukkan hasil pemilihan <i>window</i> , garis hitam menunjukkan rata-	

rata nilai HVSR, garis hitam putus-putus menunjukkan standar deviasi bawah dan atas .....	31
Gambar 3.5 Kriteria Reabilitas menurut Sesame (2004) .....	32
Gambar 4.1 Peta Persebaran Lokasi Titik Mikrotremor .....	35
Gambar 4.2 Data hasil Pengukuran Mikrotremor pada Titik 547 pada tanggal 21 Juni 2010.....	36
Gambar 4.3 Proses Pemilihan Window titik 547 pada <i>software Geopsy</i> .....	37
Gambar 4.4 Grafik Kurva HVSR pada titik 547 .....	38
Gambar 4.5 Peta Sebaran Nilai Frekuensi Natural ( $f_0$ ) .....	39
Gambar 4.6 Peta Sebaran Nilai Periode Dominan Tanah .....	42
Gambar 4.7 Peta Sebaran Nilai Ketebalan Sedimen .....	44
Gambar 4.8 Peta Sebaran Nilai Amplifikasi .....	45
Gambar 4.9 Peta Persebaran Nilai Kerentanan Tanah (Kg) .....	48
Gambar 4.10 Peta Persebaran Nilai Kerentanan Tanah (Kg) dioverlay dengan kontur ketinggian daerah penelitian ..	49
Gambar 4.11 Peta Persebaran Nilai Percepatan Tanah (PGA) ..	51
Gambar 4.12 Peta <i>overlay</i> nilai PGA dengan struktur geologi ....	53

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Rekaman Sejarah Gempa Yogyakarta dan Sekitarnya (BMKG,2017).....	6
Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin et al,2005).....	17
Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Kanai – Omote Nakajima (dikutip dari bulletin meteorology dan Geofisika No. 4, 1998) .	18
Tabel 2.4 Klasifikasi tanah berdasarkan (Zhao et al., 2004) .....	19
Tabel 4.1 Persebaran nilai frekuensi Natural .....	40
Tabel 4.2 Persebaran Nilai PGA (gal).....	51



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Bencana alam gempa bumi merupakan bencana alam yang sering terjadi di negara Indonesia. Hal ini disebabkan Indonesia berada di jalur cincin gunung api Asia Pasifik yang merupakan jalur rawan terjadi aktivitas seismik, berada pada daerah yang sering terjadi gempa bumi dan letusan gunung berapi (*National Geographic*, n.d., 2017). Indonesia dilewati tiga pertemuan lempeng aktif yaitu lempeng Eurasia, lempeng Indo-Australia, dan Lempeng Pasifik. Kawasan Indonesia bagian barat terjadi interaksi antara lempeng Eurasia dan lempeng Indo-Australia yang membentang di sebelah barat Pulau Sumatera menerus ke selatan Pulau Jawa hingga Nusa Tenggara (Supartoyo and Abdurahman, n.d.). Interaksi antar lempeng tersebut membentuk zona subduksi dicirikan dengan aktivitas gempa bumi. Aktivitas zona subduksi tersebut berpotensi memicu aktivitas patahan atau sesar yang terdapat pada zona tersebut. Salah satu patahan atau sesar lokal yang terkenal merupakan Sesar Opak yang termasuk sesar aktif mempunyai tingkat aktivitas yang tinggi (Natawidjaja, 2016).

Konsekuensinya wilayah Yogyakarta dan sekitarnya berada pada daerah rentan gempa bumi. Berdasarkan catatan sejarah kegempaan beberapa tahun terakhir gempa Yogyakarta pada Mei 2006 merupakan gempa yang paling merusak. Menurut data kementerian sosial RI gempa bumi selama 57 detik tersebut telah menewaskan 4.983 orang dan banyak bangunan yang mengalami kerusakan parah (Kemensos, 2017). Kabupaten Gunungkidul berada dekat zona Sesar Opak. Badan perencanaan dan pembangunan nasional (Bappenas) merilis korban tewas di Kabupaten Gunungkidul sebanyak 81 orang dan 1.086 lainnya luka-luka selain itu Gunungkidul merupakan wilayah yang menempati peringkat ketiga di Yogyakarta sebagai kabupaten yang mengalami kerusakan parah saat terjadi gempa 2006 (Elnashai et al., 2006). Setiap aktivitas gempa bumi dapat menimbulkan

berbagai macam kerusakan diakibatkan oleh faktor magnitudo, kedalaman gempa, jarak hiposenter gempabumi, durasi getaran, kondisi tanah dan bangunan (Irsyam et al., 2010). Kondisi geologi menjadi peranan penting, dalam beberapa penelitian menyebutkan bahwa tingkat kerusakan yang diakibatkan gempa bumi dipengaruhi oleh kondisi tanah setempat. Seperti gempa Michoacan di Mexico tahun 1985 yang terjadi diatas lapisan lunak batuan sedimen, menyebabkan kerusakan pada kota. Gempa yang terjadi berjarak 380 km dari kota, kerusakan yang terjadi disebabkan akibat faktor amplifikasi getaran tanah yang besar yang mengakibatkan kerusakan parah.

Salah satu metode untuk mengetahui kondisi geologi setempat, adalah dengan menggunakan teknik HVSr yang diperkenalkan Nakamura et. al (1998) digunakan untuk mengkarakterisasi struktur tanah. Perkembangan metode ini juga dapat digunakan untuk mengestimasi indeks kerentanan tanah. Parameter metode HVSr diperlukan untuk mengetahui kondisi bawah permukaan yang mempengaruhi frekuensi natural dan amplifikasi bertujuan untuk interpretasi mikrozonasi dengan HVSr secara tepat (Sungkono,2011). Metode HVSr termasuk metode yang murah, efektif, dan ramah lingkungan namun, masih banyak perdebatan pada konsep HVSr terkait dominasi gelombang geser dan gelombang permukaan pada kurva HVSr. Melihat Kabupaten Gunungkidul merupakan daerah dekat Sesar Opak, dan dimungkinkan memiliki kerawanan ketika terjadi gempabumi maka, dapat dilakukan mitigasi dengan identifikasi karakteristik dinamika tanah di daerah penelitian.

Karakteristik dinamika yang diidentifikasi adalah frekuensi natural dan amplifikasi selanjutnya dilakukan perhitungan untuk mengetahui periode dominan tanah, ketebalan lapisan sedimen, nilai kerentanan seismik, dan nilai percepatan getaran tanah maksimum akibat gempabumi yang pernah terjadi di lokasi penelitian untuk analisis area rawan bencana gempabumi di lokasi penelitian dan sebagai info untuk pembangunan di daerah penelitian.

## **1.2 Perumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang di atas, permasalahan yang akan dibahas pada penelitian ini antara lain:

1. Bagaimana karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi natural ( $f_0$ ), periode dominan ( $T_0$ ), ketebalan sedimen ( $h$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), dan indeks kerentanan tanah ( $K_g$ )?
2. Bagaimana mikrozonasi dan percepatan tanah maksimum (PGA) di daerah Kabupaten Gunungkidul?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang hendak dicapai dalam penelitian ini antara lain:

1. Untuk menentukan karakteristik dinamika tanah berdasarkan frekuensi natural ( $f_0$ ), periode dominan ( $T_0$ ), ketebalan sedimen ( $h$ ), amplifikasi ( $A_0$ ), dan indeks kerentanan tanah ( $K_g$ ) akibat yang ditimbulkan gempabumi.
2. Untuk mengetahui mikrozonasi gempabumi dan menentukan nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) di daerah Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta.

## **1.4 Batasan Masalah**

Batasan masalah pada penelitian ini antara lain:

1. Penelitian tugas akhir ini dilakukan di wilayah Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta.
2. Pengolahan data menggunakan metode HVSR dan analisis data menggunakan software Geopsy untuk memperoleh frekuensi natural dan amplifikasi yang selanjutnya akan menjadi parameter perhitungan indeks kerentanan tanah dan nilai percepatan tanah.
3. Penentuan percepatan tanah maksimum (PGA) menggunakan parameter periode dominan dan referensi gempa Yogyakarta 2006 dengan perhitungan empiris menggunakan metode Kanai.
4. Mikrozonasi daerah rawan gempabumi berdasarkan terbatas pada penyediaan informasi berupa peta zonasi frekuensi natural, amplifikasi, nilai periode dominan, ketebalan

sedimen, indeks kerentann tanah (Kg) dan nilai percepatan tanah maksimum (PGA)

### **1.5 Manfaat penelitian**

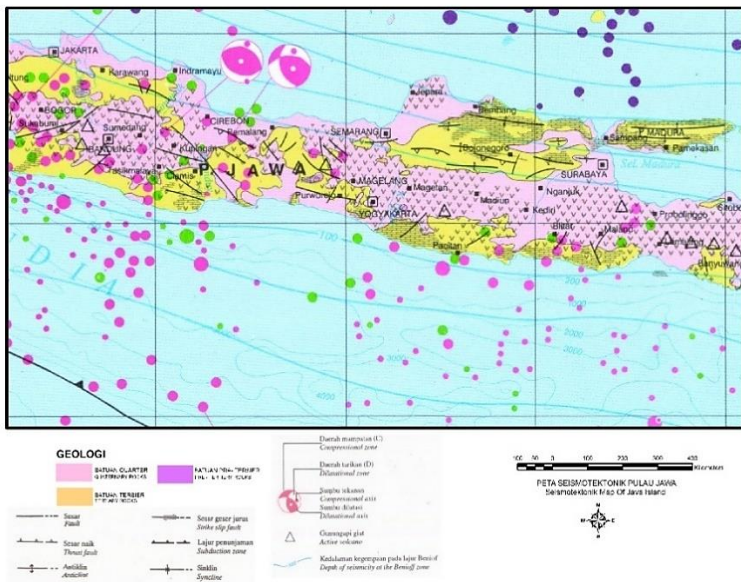
Manfaat dari penelitian tugas akhir ini adalah dapat mengetahui karakteristik dinamika tanah daerah Kabupaten Gunungkidul berdasarkan frekuensi natural, faktor amplifikasi dan indeks kerentanan tanah, memberikan informasi dan rekomendasi kepada BPPTKG dan pihak-pihak terkait terhadap mikrozonasi daerah rawan gempa bumi daerah Gunungkidul, Yogyakarta.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Sistematika penulisan laporan tugas akhir ini dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Bab I – Pendahuluan, berisi uraian mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, batasan masalah, dan sistematika penulisan laporan penelitian.
2. Bab II – Tinjauan Pustaka, berisi uraian mengenai teori yang mendukung penelitian.
3. Bab III – Metodologi Penelitian, berisi tempat penelitian, observasi data penelitian, alat yang digunakan dalam penelitian, serta uraian mengenai metode dan tahapan-tahapan yang dilakukan selama penelitian.
4. Bab IV – Analisa Data dan Pembahasan, menjelaskan tentang hal-hal yang didapat selama penelitian, hal ini berkaitan dengan karakteristik dinamika tanah, mikrozonasi dan Percepatan Getaran Maksimum daerah Kabupaten Gunungkidul.
5. Bab V– Penutup, berisi uraian mengenai kesimpulan dari hasil analisa data dan pembahasan serta saran-saran untuk mendukung hasil penelitian.
6. Lampiran, berisi data – data yang digunakan dalam penelitian beserta beberapa gambar yang menunjang penelitian in

## 2.1 Seismotektonik dan Kondisi Geologi



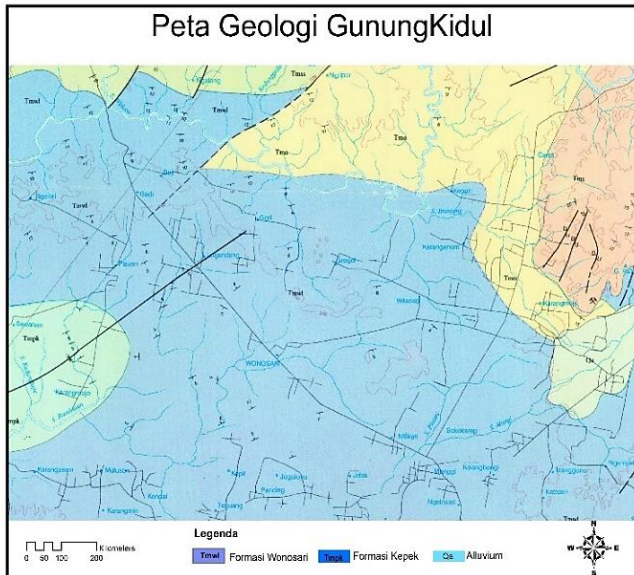
Melihat kondisi tersebut pulau Jawa masuk dalam katagori daerah rawan bencana gempa bumi. Daerah Yogyakarta berdekatan dengan zona subduksi lempeng Indo-Australia terhadap lempeng Eurasia. Khususnya provinsi Yogyakarta termasuk wilayah yang berada dalam kawasan tinggi ancaman bencana gempabumi akibat aktivitas beberapa sesar lokal didaratan (Daryono, 2009). Struktur sesar terbentuk sebagai dampak desakan lempeng Indo-Australia pada bagian daratan pulau Jawa. Beberapa sesar yang diduga masih aktif adalah Sesar Opak, Sesar Oyo, Sesar Dengkeng, Sesar Progo dan beberapa sesar mikro lainnya yang belum teridentifikasi. Berikut disajikan tabel rekaman sejarah gempa di Yogyakarta dan sekitarnya:

Tabel 2.1 Rekaman Sejarah Gempa Yogyakarta dan Sekitarnya (BMKG,2017)

<b>Tanggal</b>	<b>Waktu Gempa (WIB)</b>	<b>Inte n- sitas</b>	<b>Depth (Km)</b>	<b>Mag (SR)</b>	<b>Pusat Gempa</b>
27 Mei 2006	05:54:00	VII	12	5.9	Yogyakarta
27 Mei 2006	08:07:43	III	33	5.2	Yogyakarta
27 Mei 2006	10:10:03	III	33	4.9	Yogyakarta
27 Mei 2006	11:21:53	III	33	4.7	Yogyakarta
20 Januari 2007	05:56:25	III	10	3.4	Bantul
20 Januari 2007	05:56:25	III	10	3.4	Bantul
18 Mei 2009	06:08:12	III	10	3.5	Bantul
28 Januari 2010	03:39:13	III	17	5.2	Wonosari
21 Maret 2011	14:43:09	III	10	3.8	Bantul
14 Juni 2012	21:54:12	III	15	4.8	Bantul

Menurut indeks rawan bencana Indonesia Kabupaten Gunungkidul menempati urutan ke 76 (Triutomo and Sudinda, 2011). Kabupaten Gunungkidul termasuk wilayah bagian provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta daerah bagian barat berbatasan

langsung dengan Kabupaten Bantul dan Sleman (Provinsi DIY), bagian timur berbatasan dengan Kabupaten Wonogiri, sebelah Utara berbatasan dengan Klaten dan Sukoharjo (Provinsi Jawa Tengah) dan sebelah selatan berbatasan langsung dengan Samudera Hindia. Kondisi wilayah Kabupaten Gunungkidul dicirikan dengan banyaknya perbukian batuan gamping atau *karst*.



Gambar 2.2 Lembar Peta Geologi Gunungkidul (Surono et al.,1992)

Secara garis besar stratigrafi daerah Kabupaten Gunungkidul tersusun oleh Formasi Wonosari, Formasi Kepek, Endapan Gunung Merapi Muda dan Alluvial. Sebagaimana dapat dilihat pada gambar 2.2 Formasi Wonosari (Tmwl) tersusun atas batu gamping terumbu, kalkarenit, dan kalkarenit tufan, daerah penelitian bagian selatan didominasi topografi karst. Formasi Kepek (Tmpe) litologi penyusunnya terdiri dari napal dan batugamping berlapis, formasi ini kaya akan foraminifera kecil.

Sedangkan Endapan Gunung Merapi (Qvn) ini terletak diatas Formasi Kepek dan Formasi Wonosari yang didominasi oleh tuf, abu, breksi, batuan kolongmerat dan leleran lava. Umumnya endapan ini berupa endapan lahar dari gunung merpai yang masih aktif. Alluvial (Qa) satuan alluvial menindih Formasi Kepek dan Formasi Wonosari, litologi penyusunnya berupa kerakal, pasir, lanau, dan lempung.

## **2.2 Gelombang Seismik**

Gelombang seismik adalah gelombang yang merambat dari permukaan bumi berasal dari sumber aktivitas seismik seperti gempa bumi, erupsi gunung berapi, longsoran, dan sebagainya. Gelombang seismik termasuk gelombang mekanik dimana dibutuhkan medium dalam perambatannya dan partikel dari medium tersebut yang akan berosilasi ketika gelombang melewatinya. Telford membagi dua tipe gelombang berdasarkan penjarannya terdiri dari gelombang badan (*body wave*) dan gelombang permukaan (*surface wave*).

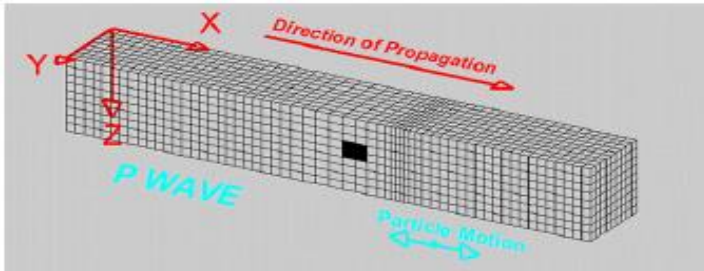
### **2.2.1 Gelombang Badan**

Gelombang badan merupakan gelombang yang dapat merambat ke segala arah dalam bumi seperti gelombang suara atau gelombang cahaya. Berdasarkan gerak partikel pada media, dan arah penjarannya, gelombang badan dibagi menjadi dua yaitu:

#### **1. Gelombang Primer (P)**

Gelombang primer atau gelombang P atau gelombang kompresi atau gelombang longitudinal merupakan gelombang yang pertama kali terekam pada stasiun gempa ketika gelombang P melewati suatu medium partikel seolah-olah bergerak maju mundur searah dengan arah penjaran gelombangnya, gelombang P dapat merambat melalui medium padat, cair, dan gas.

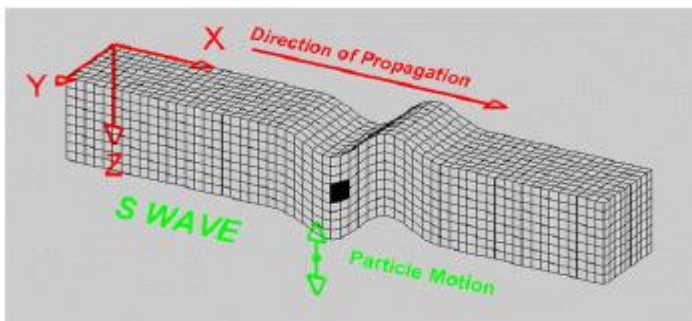




Gambar 2.3 penjalaran gelombang P (Brailer,2004)

## 2. Gelombang Sekunder (S)

Gelombang sekunder disebut juga gelombang S atau gelombang *shear* atau gelombang transversal merupakan gelombang yang arah gerakan partikelnya tegak lurus dengan arah penjalaran gelombangnya. Gelombang ini hanya dapat merambat pada medium padat karena pada medium cair dan gas tidak memiliki elastisitas untuk kembali ke bentuk asal.



Gambar 2.4 penjalaran gelombang S (Brailer,2004)

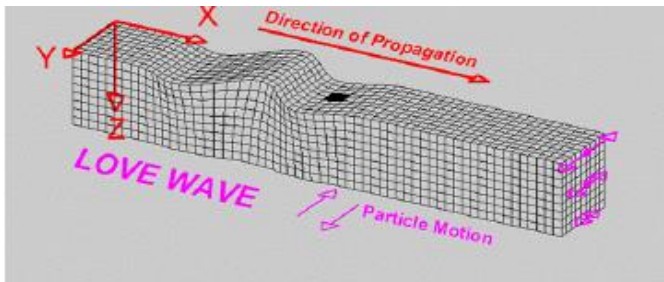
### 2.2.2 Gelombang Permukaan

Gelombang permukaan merupakan gelombang yang merambat di permukaan bumi. Gelombang ini memiliki frekuensi rendah namun memiliki amplitudo yang besar saat terjadi penjalaran akibat adanya permukaan bebas, dimana permukaan antara bumi

pada dengan udara yang diasumsikan ruang hampa perambatan gelombang permukaan lebih lambat daripada gelombang P namun lebih banyak menyebabkan kerusakan (Afimar,2009). Ada dua tipe gelombang permukaan yaitu:

### 1. Gelombang *Love*

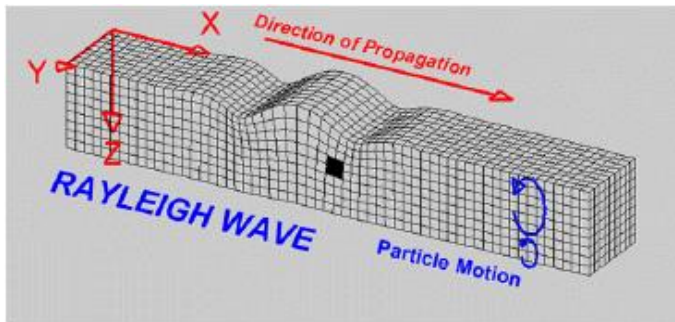
Gelombang ini terbentuk akibat adanya interferensi gelombang-gelombang pantul gelombang SH pada suatu lapisan dekat permukaan bumi. Gerak partikel medium ketika dilewati gelombang *love* akan sama dengan gelombang SH tapi amplitudonya berkurang terhadap kedalaman.



Gambar 2.5 penjalaran gelombang Love (Brailer,2004)

### 2. Gelombang Rayleigh

Gelombang ini merambat terbentuk akibat interferensi gelombang pantul P dan SV yang sudut datangnya melebihi sudut kritis. Gerak partikel mediumnya ketika dilewati gelombang ini berbentuk elips yang merupakan kombinasi dari gerak partikel gelombang P dan SV. Amplitudonya akan turun terhadap kedalaman.



Gambar 2.6 Penjalaran gelombang Rayleigh (Brailer,2004)

### 2.3 Mikrotremor

Mikrotremor atau biasa disebut dengan ambient noise adalah getaran tanah dengan amplitudo mikrotremor yang disebabkan oleh faktor alam ataupun faktor manusia. Peristiwa alam dapat berupa angin, guncangan tanah, gerakan tanah, gempabumi,, gelombang laut, sedangkan faktor manusia dapat berupa aktivitas manusia seperti aktivitas industri, bangunan, kendaraan dan lain-lain. Karakteristik mikrotremor erat kaitannya dengan kondisi struktur tanah wilayah daerah penelitian untuk mengetahui keadaan bawah permukaan tanah. Dari pengukuran mikrotremor dapat diketahui sifat getaran dalam lapisan dibawah permukaan tanah (Nakamura, 2000). Mikrotremor pun banyak digunakan seperti (Sato et al., n.d., 2008) mikrotremor untuk identifikasi resonansi frekuensi natural bangunan dan tanah di Istanbul, Turki, mikrotremor untuk mikrozonasi daerah Silivri untuk mengestimasi gempabumi dan kerentanan tanah oleh (Ansal and Biro, n.d., 2004).

### 2.4 Metode HVSR

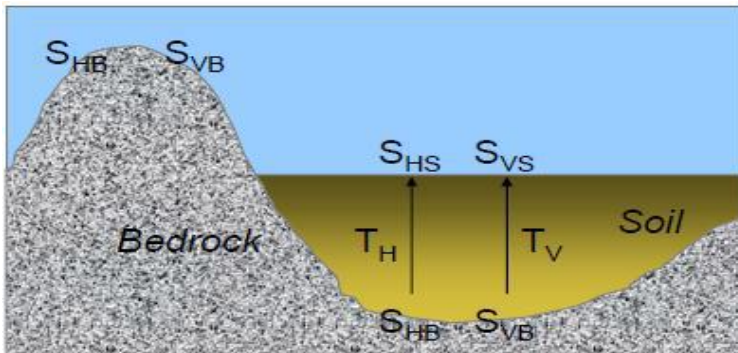
Salah satu cara untuk mengetahui karakterisasi dinamika lapisan permukaan tanah adalah dengan metode *Horizontal Vertical Spectral To Ratio* (HVSR). Metode ini efektif digunakan untuk mengetahui dinamika lapisan tanah dalam area yang luas,

karena dirasa metode HVSR merupakan metode yang cukup efektif. Nakamura mengenalkan metode HVSR untuk melihat karakteristik dinamika lapisan tanah permukaan yang diakibatkan *local site effect* saat gempa bumi (Nakamura, 1997). Namun metode ini masih diperdebatkan oleh para ahli dimana Nakamura et al., (1989) menyampaikan bahwa konsep HVSR didominasi oleh gelombang geser dan mengabaikan gelombang permukaan, namun hal ini dibantah oleh (Bennefoy-Claudet, 2006) yang menyatakan bahwa gelombang mikrotremor tersusun atas gabungan gelombang permukaan yaitu gelombang Rayleigh dan Love hali ini dipertegas oleh (Arai Tokimatsu et al., 2000; Castelaró Mulargia et al., 2009) bahwa gelombang HVSR merupakan kontribusi dari gelombang permukaan.

Metode ini menggunakan perbandingan antara komponen horizontal dan komponen vertikal, dimana metode HVSR ini diasumsikan rasio spektrum horizontal dan vertikal dari getaran permukaan merupakan fungsi perpindahan. Dalam gambar 2.7 dapat digambarkan ilustrasi gerakan seismik di permukaan tanah dimana faktor amplifikasi atau amplitudo dari gerakan horizontal dan vertikal pada permukaan tanah bersentuhan langsung dengan batuan dasar di area cekungan, faktor amplifikasi dari gerakan horizontal dan vertikal pada lapisan sedimen dilambangkan dengan  $T_h$  dan  $T_v$  (Nakamura, 2000). Dengan membandingkan faktor amplifikasi horizontal ( $T_h$ ) dan spektrum komponen gerak horizontal di permukaan tanah ( $S_{HS}$ ) dengan spektrum komponen gerak horizontal pada dasar lapisan tanah ( $S_{HB}$ ) diperoleh persamaan faktor amplifikasi horizontal ( $T_H$ ) dan ( $T_V$ ) faktor amplifikasi vertikal adalah sebagai berikut:

$$T_H = \frac{S_{HS}}{S_{HB}} \quad (2.1)$$

$$T_V = \frac{S_{VS}}{S_{VB}} \quad (2.2)$$



Gambar 2.7 Model cekungan yang berisi material halus (Slob,2007)

Nakamura menjelaskan tentang efek sumber gelombang dengan efek geologi setempat dengan cara menormalisir spektrum komponen horizontal dan vertikal pada titik ukur yang sama. Hasilnya menunjukkan bahwa rekaman pada stasiun yang berada pada batuan keras nilai maksimum rasio spektrum komponen horizontal terhadap komponen vertikal mendekati 1. Namun pada stasiun yang berada pada batuan lunak nilai maksimumnya mengalami perbesaran atau amplifikasi. Dapat dilihat pada Persamaan 2.3:

$$\frac{S_{HB}}{S_{HB}} = 1 \quad (2.3)$$

Umumnya data mikrotremor tersusun atas banyak gelombang utamanya adalah gelombang Rayleigh, karena rasio spektrum antara komponen horizontal dan vertikal mendekati satu, maka gangguan yang terekam pada permukaan lapisan tanah akibat efek gelombang Rayleigh dapat dihilangkan, sehingga hanya pengaruh struktur geologi atau *site effect* ( $T_{site}$ ). Dimana ( $T_{site}$ ) menunjukkan puncak amplifikasi pada frekuensi dasar pada suatu lokasi (Slob, 2007):

$$T_{SITE} = \frac{T_H}{T_V} = \frac{S_{HB}}{S_{VS}} \quad (2.4)$$

Pada pengukuran di lapangan terdapat dua komponen horizontal yang diukur yaitu komponen horizontal utara-selatan dan komponen horizontal barat-timur. Maka sesuai persamaan yang digagas Nakamura :

$$HVSr = T_{SITE} = \frac{\sqrt{\left[ (s_{North-South})^2 + (s_{East-West})^2 \right]}}{s_{vs}} \quad (2.5)$$

Persamaan di atas menjadi perhitungan rasio spektrum mikrotremor komponen horizontal terhadap komponen vertikal HVSr.

## 2.5 Fast Fourier Transform (FFT)

Pada survey mikrotremor analisis Fourier merupakan sebuah metode untuk mendekomposisikan sebuah gelombang seismik menjadi beberapa gelombang harmonik sinusoidal dengan frekuensi berbeda. Jadi dalam gelombang seismik tersebut dapat menghasilkan sebuah fungsi sinusoidal penjumlahan dengan frekuensi tunggal. Tujuan dari transformasi Fourier dalam pengukuran mikrotremor sendiri adalah untuk mengubah gelombang seismik dalam domain waktu menjadi domain frekuensi (Riyanto and Purwanto, 2009). Prinsipnya adalah sinyal yang ada didekati dengan sinyal cosinus dan sinus dimana pendekatan setiap sinyal tersebut menghasilkan amplitude masing-masing. Pada transformasi Fourier nilai amplitude tersebut mewakili sebuah sinyal yang direpresentasikan berdasarkan amplitude yang berhubungan dengan frekuensi. Transformasi Fourier didefinisikan sebagai:

$$x_{(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} x_{(t)} e^{-i\omega t} dt \quad (2.6)$$

$$x_{(\omega)} = \int_{-\infty}^{\infty} x_{(t)} \cos(\omega t) dt - i \int_{-\infty}^{\infty} x_{(t)} \sin(\omega t) dt \quad (2.7)$$

Dimana dengan  $x(t)$  adalah fungsi sinyal dalam domain waktu,  $e^{-i\omega t}$  adalah fungsi kernel dan  $x_{(\omega)}$  adalah fungsi dalam domain frekuensi.

## 2.6 Mikrozonasi

Kondisi geologi setempat dan topografi berpengaruh pada sebaran kerusakan yang ditimbulkan dari gempa bumi dan mempengaruhi karakteristik perambatan gelombang pada tanah (Seed et al., 1983). Menurut Husein et al., (2010) pengontrol utama tingkat respon penguatan lahan terhadap getaran gempa bumi adalah kondisi batuan setempat terkait jenis batuan, berat jenis, dan ketebalan. Daerah yang berada pada sedimen lunak, umumnya terjadi penguatan amplifikasi getaran gempa bumi sehingga seringkali menambah kerusakan yang ada. Untuk itu penyediaan informasi mengenai perkembangan mikrozonasi menjadi sangat penting sebagai upaya mitigasi bencana akibat yang ditimbulkan.

Mikrozonasi adalah pembagian zona berdasarkan parameter tertentu yang memiliki karakteristik seperti getaran tanah, faktor amplifikasi, dan periode dominan. Variasi getaran tanah yang diakibatkan efek geologi setempat selanjutnya dapat digunakan untuk mitigasi kebencanaan daerah. Pengukuran menggunakan mikrotremor telah diperkenalkan dan dikembangkan sejak tahun 1950 dan sudah menjadi metode populer yang digunakan untuk mengestimasi sifat lapisan tanah dan digunakan secara intensif untuk mikrozonasi. Nakamura memperkenalkan analisa metode *horizontal to vertical spectral ratio* (HVSr) untuk mengestimasi frekuensi natural dan amplifikasi dari data mikrotremor (Nakamura, 2000). Beberapa negara termasuk Indonesia berusaha mengembangkan penelitian mikrozonasi untuk pemetaan daerah – daerah rawan bencana. Beberapa penelitian mengembangkan studi tentang mikrozonasi di kota-kota besar seperti, Tuladhar et al., (2004) mikrozonasi daerah Hanoi, Vietnam. Dalam mikrozonasi

mikrotremor ada beberapa parameter yang harus diperhatikan diantaranya adalah:

### 2.6.1 Frekuensi Natural

Pengolahan dengan menggunakan metode HVSR Menghasilkan nilai frekuensi dominan atau frekuensi natural dan nilai amplifikasi dengan menggunakan pengolahan *software* dengan menggunakan konsep transformasi Fourier. Frekuensi natural atau frekuensi dominan adalah frekuensi yang kerap kali muncul. Tahun 1949 Lachet dan brad melakukan uji simulasi dengan menggunakan 6 model struktur geologi sederhana dengan kombinasi variasi kontras kecepatan gelombang geser dan ketebalan lapisan tanah (Arifin et al., 2014). Hasilnya menunjukkan nilai puncak frekuensi berubah terhadap variasi geologi. Kanai (1998) juga telah mengklasifikasikan jenis tanah berdasarkan frekuensi predomnan mikrotremor seperti pada tabel:

Frekuensi natural tanah berkaitan dengan periode dominan tanah. Nilai periode dominan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk merambat melewati lapisan sedimen permukaan atau mengalami satu kali pemantulan terhadap bidang pantulnya (Arifin et al., 2014). Nilai periode dominan juga dapat digunakan untuk mengindikasikan karakter lapisan batuan yang ada pada lokasi penelitian. Nilai periode dominan didapatkan berdasarkan perhitungan sebagai berikut:

$$T_0 = \frac{1}{f_0} \quad (2.8)$$

Untuk  $T_0$  adalah periode dominan dan  $F_0$  frekuensi dominan. Dalam hal ini Kanai, Omote, dan Nakajima juga telah mengklasifikasikan tanah berdasarkan periode dominan tanah. Dan zhao mengklasifikasikan tanah kedalam empat kelas yang mengacu pada site *classification* dari NEHRP (*National Eartquake Hazard Reduction Program*)



Tabel 2.2 Klasifikasi Tanah berdasarkan Nilai Frekuensi Predominan Mikrotremor oleh Kanai (Arifin et al,2005)

Klasifikasi tanah		Frekuensi Dominan (Hz)	Klasifikasi Tanah Kanai	Deskripsi Tanah
Tipe	Jenis			
I	I	< 2,5	Batuan alluvial yang terbentuk dari sedimentasi delta. <i>Top soil</i> , lumpur kedalaman 30m atau lebih	Ketebalan permukaan sedimen sangat tebal
III	I	2,5-4	Batuan alluvial dengan ketebalan sedimen >5m. terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i>	Ketebalan permukaan sedimen masuk dalam katagori tebal, sekitar 10-30m
IV	I	4-10	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m terdiri dari <i>sandy-gravel</i> , <i>sandy hard clay</i> , <i>loam</i>	Ketebalan sedimen permukaan masuk dalam katagori menengah, 5-10m
	II	6,667-20	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan <i>hard sandy, gravel</i>	Ketebalan permukaan sedimen tipis didominasi batuan keras

Tabel 2.3 Klasifikasi Tanah Kanai – Omote Nakajima (dikutip dari bulletin meteorology dan Geofisika No. 4, 1998)

<b>Klasifikasi tanah</b>		<b>Periode (T) sekon</b>	<b>Keterangan</b>	<b>Karakter</b>
<b>Kanai</b>	<b>Omote-nakajima</b>			
Jenis I	Jenis A	0,05-0,15	Batuan tersier atau lebih tua. Terdiri dari batuan pasir berkerikil keras	Keras
Jenis II		0,15-0,25	Batuan alluvial dengan ketebalan 5m. terdiri dari pasir berkerikil (sandy gravel), lempung keras (sandy hard clay), tanah liat, lempung (loam)	Sedang
Jenis III	Jenis B	0,25-0,40	Batuan alluvial hampir sama dengan jenis II hanya, dibedakan oleh adanya formasi bluff.	Lunak
Jenis IV	Jenis C	>0,40	Batuan alluvial terbentuk dari sedimentasi delta, topsoil, lumpur, humus, endapan delta atau endapan lumpur, yang tergolong ke dalam tanah lembek dengan	Sangat Lunak

			kedalaman 30m atau lebih	
--	--	--	-----------------------------	--

Tabel 2.4 Klasifikasi tanah berdasarkan (Zhao et al., 2004)

Klasifikasi tanah		Periode Dominan (T)	Deskripsi
Site classes (zhao)	NEHRP class		
SC I	A B	$\leq 0,2 \text{ s}$	Rock/stiff soil
SC II	C	$0,2\text{s} \leq T_0 < 0,4\text{s}$	<i>Hard Soil</i> (Keras)
SC III	D	$0,4\text{s} \leq T_0 < 0,6\text{s}$	<i>Medium Soil</i> ( Sedang)
SC IV	E	$T_0 \geq 0,6\text{s}$	<i>Soft Soil</i> (Lunak)

## 2.6.2 Faktor Amplifikasi

Menurut Nakamura et. al, (2000), amplifikasi dapat terjadi akibat dari adanya perbesaran gelombang seismik karena perbedaan yang mencolok antar lapisan. Artinya gelombang seismik akan mengalami perbesaran jika melalui medium yang lebih lunak dari pada medium awal yang dilaluinya. Jika semakin besar perbedaan itu maka perbesaran gelombang juga semakin besar pula. Nilai penguatan amplifikasi tanah berkaitan dengan kontras impedansi lapisan dipermukaan dan lapisan dibawahnya. Apabila kontras impedansi kedua lapisan tersebut tinggi maka terjadi faktor penguatan yang tinggi pula, begitupun sebaliknya. Sehingga dikaitkan antara fungsi perbandingan kontras impedansi sebagai berikut :

$$A_0 = \frac{\rho_b V_b}{\rho_s V_s} \quad (2.9)$$

Di mana untuk  $A_0$  adalah faktor amplifikasi,  $\rho_b$  adalah densitas batuan dasar (m/s),  $V_b$  adalah kecepatan rambat gelombang batuan dasar (m/s),  $\rho_s$  adalah Densitas batuan lunak (m/s),  $V_s$  adalah kecepatan rambat gelombang batuan lunak (m/s).

### 2.6.3 Ketebalan Sedimen

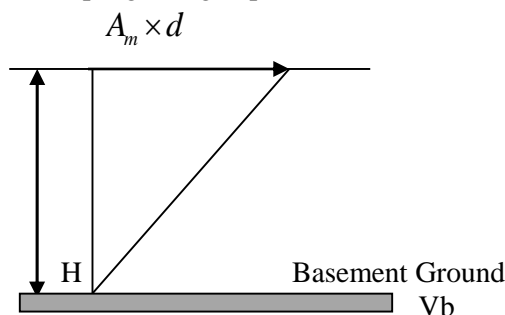
Ketebalan lapisan sedimen merupakan ketebalan lapisan lapuk pada lapisan tanah yang diendapkan di atas batuan dasar atau *bedrock*. Lapisan sedimen yang dimaksudkan dalam analisis mikrotremor ini adalah lapisan tanah yang bagian atas dimana memiliki kecepatan relatif rendah. Definisi *bedrock* di sini adalah lapisan tanah bagian bawah yang kecepatannya lebih tinggi dibandingkan dengan lapisan sedimen yang berada di atasnya. Hubungan ketebalan sedimen dengan frekuensi natural dan kecepatan gelombang geser seperti pada persamaan berikut:

$$H = \frac{V_s}{4f_0} \quad (2.10)$$

Untuk  $H$  merupakan faktor ketebalan sedimen,  $V_s$  merupakan kecepatan gelombang geser ( $\text{cm/s}^2$ ), dan  $f_0$  adalah frekuensi natural (Hz).

### 2.7 Indeks Kerentanan Seismik (Kg)

Nilai indeks kerentanan seismik digunakan untuk mengestimasi suatu daerah yang rawan terhadap gerakan tanah yang diperoleh dari hubungan antara frekuensi natural dan amplifikasi atau didapatkan juga dari pengukuran di permukaan serta perubahan akibat pengaruh gempabumi.



Gambar 2.8 *Surface ground deformation* (Nakamura, 2000)

Kerentanan pada tanah perlu diperhatikan pula nilai pergeseran regangan ( $\gamma$ ) pada lapisan tanah tersebut saat terjadi

gempabumi (Nakamura, 1997). Dalam menentukan indeks kerentanan seismik perlu diperhatikan *shear strain* pada permukaan tanah. Pada gambar di atas merupakan deformasi dari *shear strain* permukaan tanah, nilai  $\gamma$  ditunjukkan pada persamaan berikut:

$$\gamma = A_m \times \frac{d}{H} \quad (2.11)$$

Nilai  $A_m$  merupakan indeks faktor amplifikasi,  $h$  adalah ketebalan lapisan permukaan nilai perpindahan seismik dari dasar bumi. Apabila kecepatan gelombang dasar dan permukaan tanah ditunjukkan  $V_b$  dan  $V_s$  maka pengaruh frekuensi dominan ditunjukkan oleh persamaan sebagai berikut:

$$f_0 = \frac{V_b}{4A_m \times h} \quad (2.12)$$

Nilai percepatan tanah dibawah permukaan ( $\alpha_b$ ) dirumuskan sebagai berikut

$$\alpha_b = (2\pi f_0)^2 \times d \quad (2.13)$$

Maka untuk mencari perpindahan seismik dapat dicari menggunakan rumus 2.11 sebagai berikut:

$$d = \frac{\alpha_b}{(2\pi f_0)^2} \quad (2.14)$$

Sehingga untuk persamaan (2.12) dan (2.14) bisa disubstitusikan ke persamaan (2.11), persamaannya menjadi:

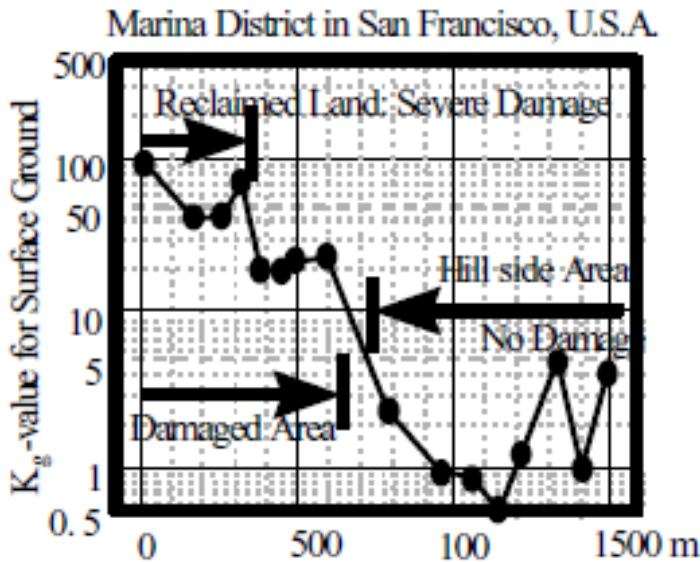
$$\gamma = \left( \frac{A_m \times \alpha_b}{(2\pi f_0)^2} \right) \times \left( 4A_g \times \frac{f_0}{V_b} \right) \quad (2.15)$$

Untuk menghitung *ground shear strain* lapisan tanah permukaan di suatu tempat saat terjadi gempabumi, Nakamura (1997) merumuskan :

$$\gamma = K_g \frac{\alpha_b}{\pi^2 V_b} \quad (2.16)$$

Nilai  $K_g$  adalah indeks kerentanan untuk yang paling mudah untuk mengidentifikasi dari titik lokasi pengukuran. Dimana untuk nilai kecepatan dasar bumi  $V_b$  adalah kecepatan gelombang geser saat di bedrock yang mana nilainya diasumsikan tetap. Nilai  $K_g$  memperlihatkan nilai pengukuran yang digunakan untuk menentukan tingkat ketahanan atau lapisan bumi. Dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$K_g = \frac{A_m^2}{f_0} \quad (2.17)$$



Gambar 2.9 Nilai  $K_g$  pada gempabumi di area Marina San Francisco, U.S.A (Nakamura, 2000)

Indeks kerentanan seismik ( $K_g$ ) bergantung pada kondisi lapisan tanah. Dalam jurnal Nakamura, memperlihatkan kerusakan yang terjadi akibat gempabumi yang terjadi di San Fransisco.

Penelitian tersebut memaparkan bahwa kerusakan yang terjadi akibat gempabumi sebanding dengan nilai indeks kerentanan seismik. Gambar 2.9 memperlihatkan bahwa pada kawasan pesisir dan daerah reklamasi didominasi atas batuan lunak mempunyai nilai  $K_g$  yang lebih tinggi sedangkan pada tanah yang keras atau daerah perbukitan memiliki nilai indeks kerentanan seismik yang semakin rendah.

## 2.8 Percepatan Getaran Tanah Maksimum (PGA)

Salah satu yang menjadi parameter penting dalam mengestimasi kerentanan gempabumi merupakan percepatan getaran tanah maksimum yang terjadi pada daerah rawan gempabumi, karena menggambarkan kekuatan gempa yang pernah terjadi pada daerah tersebut. Percepatan getaran tanah maksimum adalah nilai percepatan getaran tanah terbesar yang pernah terjadi di suatu tempat yang diakibatkan oleh gelombang gempabumi (Edwiza and Novita, 2008). Menurut Kanai, percepatan getaran tanah maksimum (PGA) dapat ditinjau dari penjalaran gelombang seismik pada *bedrock* dari pusat gempa menuju karakteristik lapisan tanah tempat penelitian. Sifat lapisan tanah ditentukan oleh periode dominan tanah dari lapisan tanah bila ada getaran seismik.

Periode dominan tanah dan periode getaran seismik akan mempengaruhi besarnya percepatan batuan pada batuan dasar (*bedrock*) dan pada permukaan. Sedangkan perbedaan respon seismik pada *bedrock* dan permukaan akan menentukan faktor perbesaran  $G(T)$ . Percepatan getaran tanah maksimum harus memperhatikan besar magnitudo dan jarak hiposenternya juga selain periode dominan tanahnya. Berdasarkan pernyataan tersebut salah satu cara untuk menghitung nilai percepatan tanah maksimum (PGA) dengan menggunakan metode Kanai. Secara matematis dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\alpha_g = G(T)\alpha_0 \quad (2.18)$$

Dengan:

$$\alpha_0 = \frac{1}{T} 10^{(0,61M) - (1,66 + \frac{3,66}{R}) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R}} \quad (2.19)$$

$$G_T = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{T}{T_0}\right)^2 + \left(\frac{0,2}{\sqrt{T_0}} \frac{T}{T_0}\right)^2}} \quad (2.20)$$

Jika terjadi resonansi  $T=T_0$  maka harga  $G(T)$  akan mencapai maksimum sehingga gelombang yang melalui lapisan sedimen akan menimbulkan resonansi disebabkan oleh gelombang gempa yang memiliki spektrum yang lebih lebar sehingga, hanya gelombang gempa yang sama dengan periode dominan tanah dari lapisan sedimen yang akan diperkuat. Dengan perbesaran harga  $G(T)$  maka percepatan tanah pada permukaan akan mencapai maksimum dapat dituliskan melalui persamaan berikut:

$$\alpha_g = \frac{5}{\sqrt{T_0}} 10^{0,61M - \left(1,66 + \frac{3,6}{R}\right) \log R + 0,167 - \frac{1,83}{R}} \quad (2.21)$$

Untuk  $G(T)$  adalah faktor perbesaran,  $\alpha_g$  adalah percepatan tanah pada permukaan (gal),  $\alpha_0$  adalah percepatan tanah pada *base rock* (gal),  $T$  adalah periode gelombang gempa,  $T_0$  adalah periode dominan tanah pada lokasi penelitian,  $M$  adalah magnitude gempabumi (skala Richter), dan  $R$  adalah jarak hiposenter (Km).



## **BAB III**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

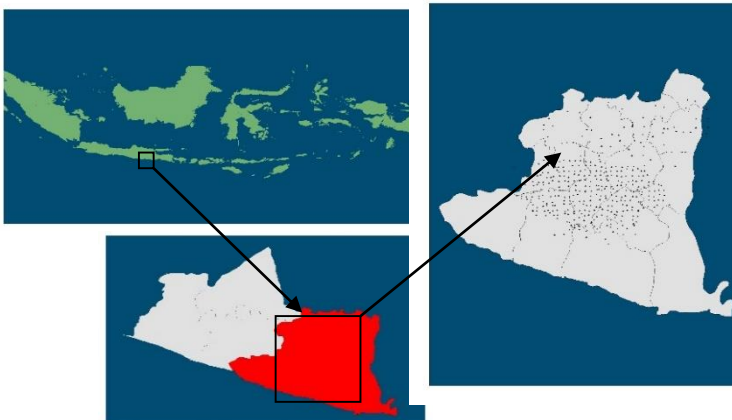
#### **3.1 Peralatan**

##### **3.1.1 Peralatan Penelitian**

Pada penelitian tugas akhir ini menggunakan data yang diperoleh dari Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG) Yogyakarta sehingga, tidak dilakukan pengambilan data di lapangan. Data yang diperoleh dari penelitian berupa data mikrotremor Kabupaten Gunungkidul berformat ASCII. Peralatan yang digunakan adalah sebuah laptop, dan perangkat lunak pendukung yaitu *microsoft excel*, *software Geopsy*, dan *Software ArcGis 10.1*.

##### **3.1.2 Lokasi Penelitian**

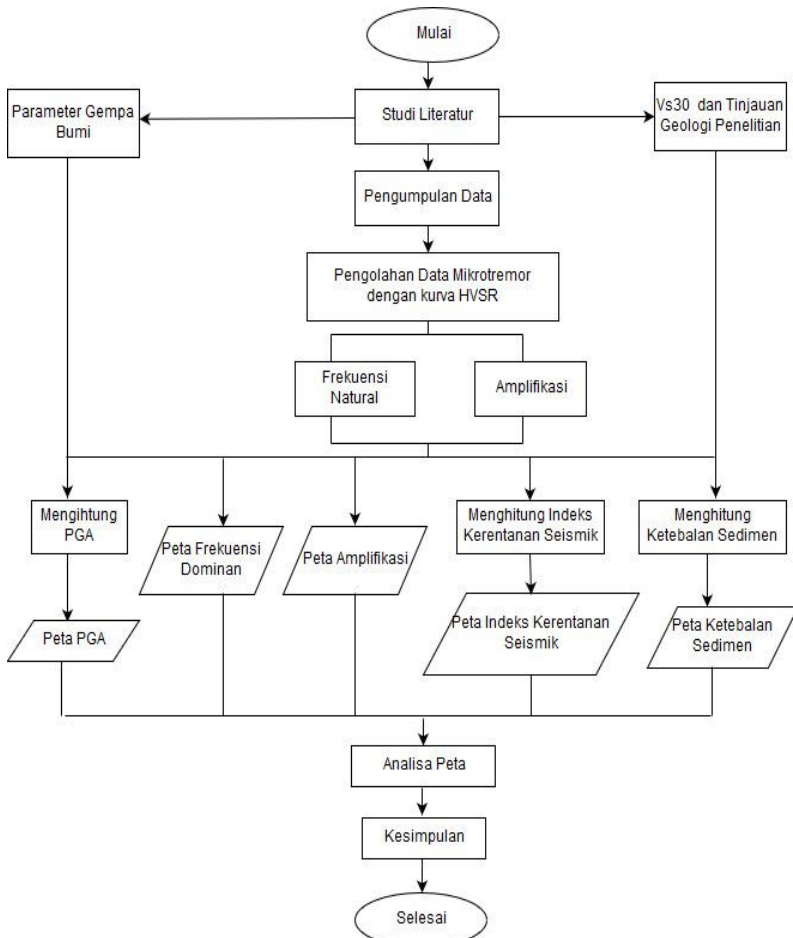
Penelitian dilakukan di Balai Penelitian dan Pengembangan Teknologi Kebencanaan Geologi (BPPTKG), Yogyakarta. Pengukuran mikrotremor dilakukan menyebar di daerah Kabupaten Gunungkidul pada tanggal 21 Juli 2010 hingga 31 Juli 2010 dan 03 Agustus 2010.



Gambar 3.1 Peta Lokasi daerah penelitian

### 3.2 Tahap Penelitian

Penelitian tugas akhir ini dapat di lihat pada diagram alir penelitian 3.2 sebagai berikut:



Gambar 3.2 Diagram Alir Penelitian

Dari tahapan diagram alir di atas, dapat dijabarkan secara terperinci dengan tahapan sebagai berikut:

### **3.2.1 Studi Literatur**

Studi literatur adalah tahapan awal untuk melakukan penelitian ini dengan mengumpulkan literatur yang berkaitan dengan analisa data mikrotremor dengan metode *Horizontal Vertical Spectral Ratio* (HVSr). Dalam mengumpulkan literatur yang sesuai dengan penelitian ini yaitu geologi regional daerah Gunungkidul, kondisi geologi penelitian.

### **3.2.2 Pengumpulan Data**

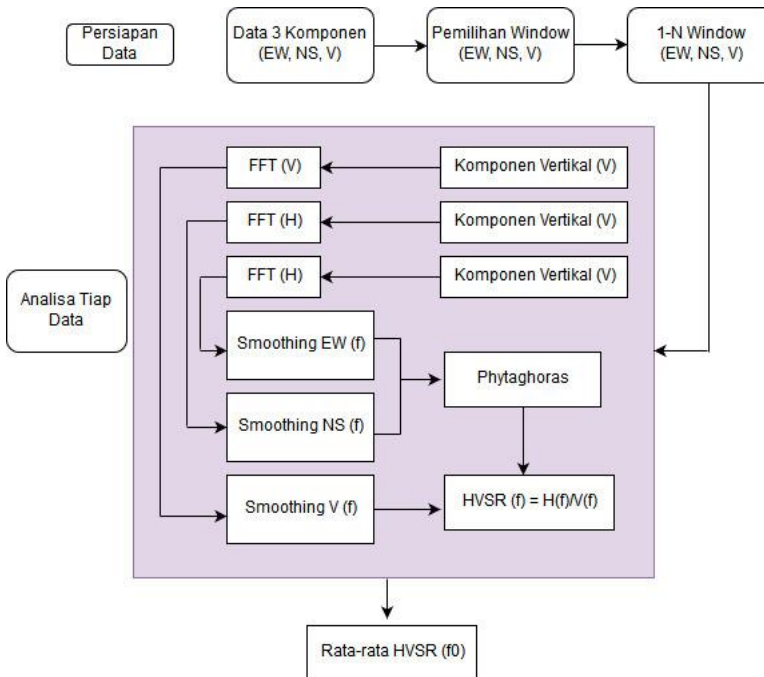
Data diperoleh dari hasil pengukuran mikrotremor oleh BPPTKG, Yogyakarta pada tahun 2010. Data lapangan yang didapatkan dari getaran tanah dalam fungsi waktu. Pada alat pengukuran mikrotremor terekam tiga jenis gelombang yaitu satu gelombang seismik vertikal dan dua gelombang seismik horizontal yang berformat .CDM. Kemudian data hasil pengukuran ini akan diproses lebih lanjut pada pengolahan data menggunakan perangkat lunak geopsy setelah ditentukan parameter-parameter yang dibutuhkan pada penelitian ini.

### **3.3 Pengolahan Data**

Data hasil pengukuran mikrotremor berupa format .CDM untuk itu dilakukan pembuatan header yang dapat diinput pada notepad. Kemudian dilakukan pengolahan data menggunakan *software Geopsy* yang memiliki tampilan 3 komponen yaitu komponen vertical (Z) dan dua komponen horizontal yaitu NS dan EW dalam domain waktu. Untuk memperoleh hasil kurva HVSr yang *reliable* maka dilakukan *quality control* dengan standar SESAME 2004. Kemudian tahapan pengolahan data mikrotremor selanjutnya *dioverlay* atau dilakukan tumpang susun menggunakan *software Arc Gis 10.1*. Berikut merupakan tahapan pengolahan data pada geopsy:

### 3.3.1 Fast Fourier Transform (FFT)

Suatu parameter fisis yang digunakan dalam penelitian ini adalah frekuensi. Parameter ini menjadi pusat informasi dari suatu pengukuran sinyal seismik. Oleh karena itu untuk mempermudah analisis sinyal menggunakan analisis spektrum *Fourier transform* yang berfungsi untuk mengubah data mikrotremor pengukuran berupa domain waktu (*time series*) ke domain frekuensi, karena data mikrotremor dalam bentuk diskrit. Analisis jumlah *window* yang disarankan sebanyak 10 *window* yang stasioner (tetap) seperti yang disarankan oleh SESAME (2004) antara 20 detik hingga 50 detik *non overlapping window*.



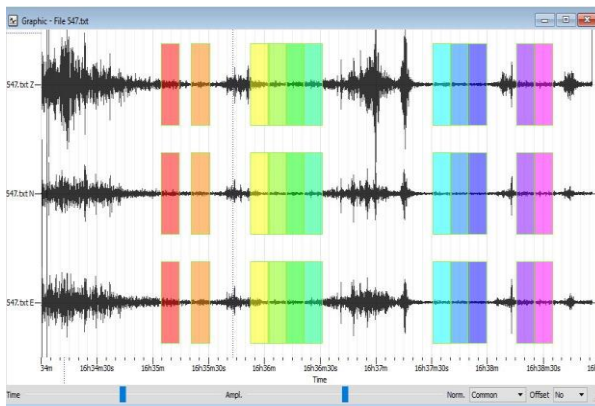
Gambar 3.3 Diagram Alir kurva HVSr pada pengolahan data mikrotremor tanah

### 3.3.2 *Smoothing* (Penghalusan Data)

Proses *smoothing* dilakukan setelah melalui proses FFT hal ini dilakukan untuk mendapatkan frekuensi yang maksimum (konstan) dan menemukan komponen data atau *spectrum* HVSR yang dihasilkan agar lebih halus, oleh sebab itu dilakukan *filter smoothing*. *Filter smoothing* yang digunakan merupakan *filter smoothing* Konno dan Omachi (1998), dengan koefisien *bandwith* sebesar 40 dan *consine taper* sebesar 5%. Dengan persamaan analitik Konno dan Omachi (1998) sebagai berikut:

$$Wp(f) = \frac{\sin \left[ \left( \log_{10} \left( \frac{f}{fo} \right)^b \right) \right]}{\left[ \left( \log_{10} \left( \frac{r}{ro} \right)^b \right) \right]^4} \quad (3.1)$$

Dimana  $Wp(f)$  merupakan fungsi pembobotan,  $f$  merupakan frekuensi,  $fo$  merupakan frekuensi pusat yang dihaluskan, dan  $b$  merupakan koefisien *bandwith*. Berikut merupakan hasil pemilihan window pada *software* geopsy pada pengukuran mikrotremor di titik 547:



Gambar 3.3 Pengolahan data mikrotremor setelah pemilihan window

### 3.3.3 Penggabungan komponen Horizontal dan Vertikal

Pada tahap ini dilakukan penggabungan komponen horizontal dan vertikal setelah melalui tahap FFT dan *smoothing*. Tahap ini dilakukan analisis menggunakan metode amplitudo spektrum (HVSr spektrum), dari dua rasio amplitudo spektrum Fourier horizontal dan satu rasio amplitudo spektrum Fourier vertikal yang diperkenalkan oleh Nakamura (2000) dengan persamaan sebagai berikut:

$$R(t) = \left[ \frac{\sqrt{FNS(T)^2 + FEW^2}}{FZ(T)} \right] \quad (3.2)$$

Dimana dengan R(T) adalah Spektrum rasio vertikal terhadap horizontal (HVSr),  $F_{NS}$  adalah Spektrum Fourier arah North-South,  $F_{EW}$  adalah Spektrum Fourier arah East – West, dan  $F_z$  adalah Spektrum Fourier arah Z (vertikal)

### 3.3.4 Rata – rata Nilai HVSr

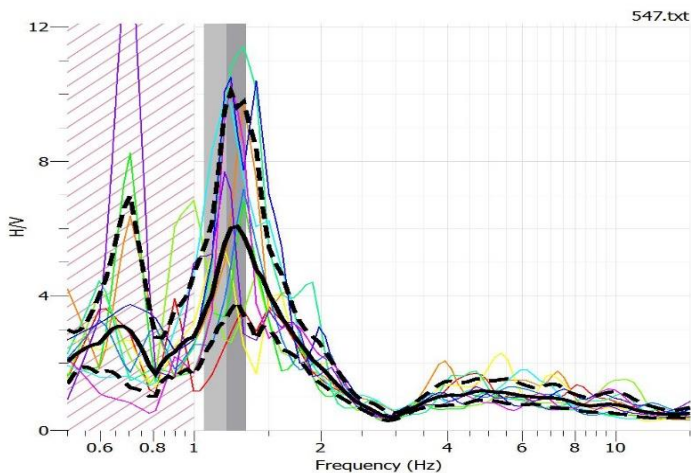
Setelah melalui tahap mendapatkan spektrum HVSr, langkah selanjutnya ialah rata-rata spektrum diploting untuk setiap titik pengukuran dan akan diperoleh spektrum HVSr untuk masing-masing window (Gambar 3.4).

### 3.3.5 Standard Deviasi

Dalam setiap pengukuran standar deviasi mutlak harus ada, yang digunakan untuk mengetahui besar penyimpangan minimum dan maksimum yang dihasilkan dari analisis kurva HVSr. Terdapat dua standar deviasi yaitu minimum dan maksimum dari nilai kurva HVSr. Selanjutnya dengan mengetahui nilai rata-rata dari kurva HVSr digunakan untuk mencari nilai frekuensi natural dan amplifikasi. Nilai frekuensi natural dan amplifikasi ini menjadi parameter untuk tahap menentukan indeks kerentanan tanah dan nilai percepatan tanah pada Kabupaten Gunungkidul.

Namun sebelum digunakan untuk menentukan indeks kerentanan tanah dan tahap selanjutnya, dilakukan pengecekan kurva HVSR dengan standar Sesame 2004 yang merupakan kriteria *reliable* kurva H/V dan kriteria *clearpeak* kurva H/V. Analisis kurva HVSR memiliki beberapa syarat yang harus dipenuhi agar pengolahan dinilai *reliable* atau dapat dipercaya.

Kriteria yang digunakan dalam analisis kurva HVSR berdasarkan rekomendasi SESAME.



Gambar 3.4 Kurva HVSR, setiap spektrum warna menunjukkan hasil pemilihan *window*, garis hitam menunjukkan rata-rata nilai HVSR, garis hitam putus-putus menunjukkan standar deviasi bawah dan atas

Sebagaimana gambar 3.5 bahwa kriteria *reliable* kurva HVSR terdiri dari 3 kriteria, pertama frekuensi natural harus lebih besar dari 10 dibagi panjang *window* ( $f_0 > 10/l_w$ ). Kedua jumlah  $n_c$  lebih besar dari 200 ( $n_c > 200$ ). Nilai  $n_c$  diperoleh dari hasil perkalian antara panjang *window*, frekuensi natural ( $f_0$ ), dan jumlah *window* yang dipilih untuk mencari kurva rata-rata HVSR antara 20-50 detik ( $n_w$ ). kriteria ketiga adalah nilai standar deviasi

$\sigma_A$  lebih kecil dari 2 (untuk  $f_0 > 0,5$  Hz) dan  $\sigma_A$  lebih kecil dari 3 (untuk  $f_0 < 0,5$  Hz) dalam batas frekuensi  $0,5f_0$  sampai  $2f_0$ .

<b>Criteria for a reliable H/V curve</b> i) $f_0 > 10 / l_w$ and ii) $n_c(f_0) > 200$ and iii) $\sigma_A(f) < 2$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 > 0.5\text{Hz}$ or $\sigma_A(f) < 3$ for $0.5f_0 < f < 2f_0$ if $f_0 < 0.5\text{Hz}$		<ul style="list-style-type: none"> <li><math>l_w</math> = window length</li> <li><math>n_w</math> = number of windows selected for the average H/V curve</li> <li><math>n_c = l_w \cdot n_w \cdot f_0</math> = number of significant cycles</li> <li><math>f</math> = current frequency</li> <li><math>f_{\text{sensor}}</math> = sensor cut-off frequency</li> <li><math>f_0</math> = H/V peak frequency</li> <li><math>\sigma_f</math> = standard deviation of H/V peak frequency (<math>f_0 \pm \sigma_f</math>)</li> <li><math>\varepsilon(f_0)</math> = threshold value for the stability condition <math>\sigma_f &lt; \varepsilon(f_0)</math></li> <li><math>A_0</math> = H/V peak amplitude at frequency <math>f_0</math></li> <li><math>A_{HV}(f)</math> = H/V curve amplitude at frequency <math>f</math></li> <li><math>f</math> = frequency between <math>f_0/4</math> and <math>f_0</math> for which <math>A_{HV}(f) &lt; A_0/2</math></li> <li><math>f^*</math> = frequency between <math>f_0</math> and <math>4f_0</math> for which <math>A_{HV}(f^*) &lt; A_0/2</math></li> <li><math>\sigma_A(f)</math> = "standard deviation" of <math>A_{HV}(f)</math>, <math>\sigma_A(f)</math> is the factor by which the mean <math>A_{HV}(f)</math> curve should be multiplied or divided</li> <li><math>\sigma_{\log HV}(f)</math> = standard deviation of the <math>\log A_{HV}(f)</math> curve, <math>\sigma_{\log HV}(f)</math> is an absolute value which should be added to or subtracted from the mean <math>\log A_{HV}(f)</math> curve</li> <li><math>\theta(f_0)</math> = threshold value for the stability condition <math>\sigma_A(f) &lt; \theta(f_0)</math></li> <li><math>V_{S,AV}</math> = average S-wave velocity of the total deposits</li> <li><math>V_{S,surf}</math> = S-wave velocity of the surface layer</li> <li><math>h</math> = depth to bedrock</li> <li><math>h_{\min}</math> = lower-bound estimate of <math>h</math></li> </ul>
<b>Criteria for a clear H/V peak</b> (at least 5 out of 6 criteria fulfilled) i) $\exists f \in [f_0/4, f_0] \mid A_{HV}(f) < A_0/2$ ii) $\exists f^* \in [f_0, 4f_0] \mid A_{HV}(f^*) < A_0/2$ iii) $A_0 > 2$ iv) $f_{\text{peak}}[A_{HV}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ v) $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ vi) $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$		

Threshold Values for $\sigma_f$ and $\sigma_A(f_0)$					
Frequency range [Hz]	< 0.2	0.2 – 0.5	0.5 – 1.0	1.0 – 2.0	> 2.0
$\varepsilon(f_0)$ [Hz]	0.25 $f_0$	0.20 $f_0$	0.15 $f_0$	0.10 $f_0$	0.05 $f_0$
$\theta(f_0)$ for $\sigma_A(f_0)$	3.0	2.5	2.0	1.78	1.58
$\log \theta(f_0)$ for $\sigma_{\log HV}(f_0)$	0.48	0.40	0.30	0.25	0.20

Gambar 3.5 Kriteria Reabilitas menurut Sesame (2004)

### 3.3.6 Penentuan nilai frekuensi Natural dan Amplifikasi

Frekuensi natural dan amplifikasi diperoleh dari puncak tertinggi HVSR yang terdapat pada kurva HVSR. Dari penelitian yang telah disebutkan (Juan Pandu et al., 2012) menunjukkan bahwa frekuensi natural HVSR bergantung oleh kedalaman *bedrock*, dimana frekuensi natural berbanding terbalik dengan ketebalan sedimen dan berbanding lurus dengan kecepatan gelombang geser. Kemudian frekuensi natural dan amplifikasi digunakan untuk menentukan indeks kerentanan tanah.

### 3.3.7 Indeks Kerentanan Tanah

Indeks kerentanan atau  $K_g$  digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang rentan terhadap gerakan tanah yang kuat (Nakamura,



1997). Indeks kerentanan ini diperoleh dari frekuensi natural dan amplifikasi.

### **3.3.8 Nilai Percepatan Getaran Tanah (PGA)**

Nilai percepatan getaran tanah diperoleh secara empiris dengan menggunakan metode Kanai sesuai pada persamaan 2.21 dengan parameter input berupa data episenter, kedalaman, magnitudo dan nilai periode dominan tanah. Nilai periode dominan tanah diperoleh dari frekuensi natural HVSr. Percepatan getaran tanah maksimum diperoleh dari referensi gempa yang dimasukkan dalam perhitungan PGA yaitu gempa

Yogyakarta pada 27 Mei 2006 sebagai penghasil percepatan tanah tertinggi di lokasi penelitian. Menurut BMKG, referensi gempa yang dimasukkan dalam perhitungan PGA adalah koordinat UTM episenter terletak pada 440265.7 *easting* dan 9119864 *northing*, terjadi pada kedalaman 10 km dengan kekuatan 6.3 skala Richter (BMKG, 2017). Nilai percepatan getaran tanah maksimum dikaitkan dengan kondisi geologi setempat daerah penelitian.

### **3.3.9 Overlay Peta Lokasi Penelitian**

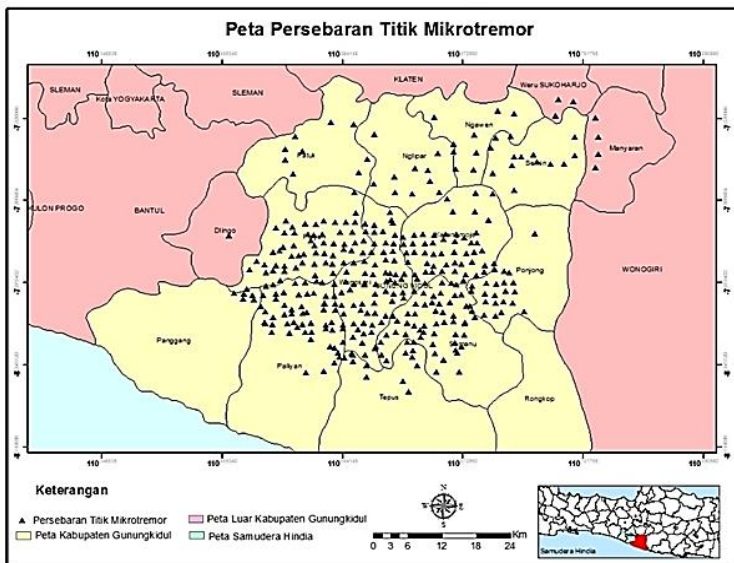
Hasil dari mikrozonasi nilai percepatan maksimum (PGA) kemudian dibuat peta persebaran di lokasi penelitian. Nilai indeks kerentanan tanah dan nilai percepatan maksimum getaran tanah *dioverlay* menggunakan peta rupa bumi Indonesia. Karena lokasi penelitian berada pada kabupaten Gunungkidul, maka nilai indeks kerentanan tanah dan nilai percepatan maksimum *dioverlay* dengan lembar peta kabupaten Gunungkidul, D.I. Yogyakarta yang berformatkan .shp dengan menggunakan bantuan *software Arc Gis* 10.1.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

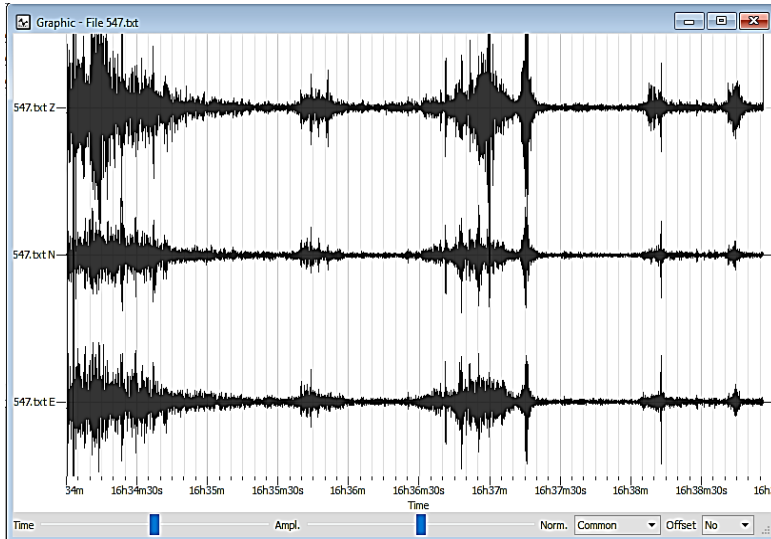
### 4.1 Analisa Data

Hasil yang diperoleh penelitian ini adalah nilai karakteristik dinamika tanah berdasarkan nilai frekuensi natural, amplifikasi, periode dominan, indeks kerentanan tanah dan percepatan getaran tanah (PGA). Pada daerah penelitian yang dilakukan di Kabupaten Gunungkidul D.I.Y. Yogyakarta ini didapatkan pengukuran mikrotremor sebanyak 375 titik, yang tersebar disetiap Kabupaten Gunungkidul diantaranya Kecamatan Karangmojo, Kecamatan Ngawen, Kecamatan Nglipar, Kecamatan Paliyan , Kecamatan Playen, Kecamatan Patuk, Kecamatan Panggang, Kecamatan Ponjong, Kecamatan Rongkop, Kecamatan Semanu, Kecamatan Semin, Kecamatan Tepus, dan Kecamatan Wonosari seperti pada gambar 4.1.



Gambar 4.1 Peta Persebaran Lokasi Titik Mikrotremor

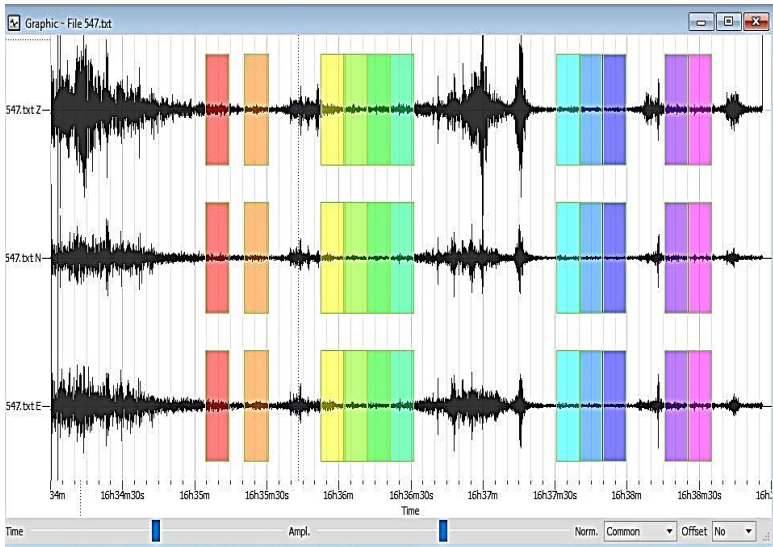
Data pengukuran mikrotremor berupa data sinyal gelombang seismik dalam domain waktu di Kabupaten Gunungkidul, kemudian dianalisis menggunakan metode HVSr sehingga diperoleh nilai frekuensi natural dan faktor amplifikasi.



Gambar 4.2 Data hasil Pengukuran Mikrotremor pada Titik 547 pada tanggal 21 Juni 2010

Data gambar 4.2 merupakan data lapangan hasil perekaman seismogram berupa 3 komponen yaitu komponen vertikal (Z), dan dua komponen dibawahnya merupakan komponen horizontal yaitu NS (*North South*) dan EW (*Easting West*). Ketiga tampilan tersebut merupakan komponen hasil pengolahan pada *software geopsy* dalam domain waktu. Durasi pengukuran mikrotremor pada daerah Gunungkidul pada tahun 2010 rata-rata dilakukan pengukuran dengan durasi waktu 5 sampai 7 menit. Menurut (Nakamura, 2000) perlu dilakukan proses pemilihan *window* yang berupa sinyal stasioner atau sinyal konstan. Hal ini disebabkan karena sinyal tersebut bukan hanya bersumber dari aktivitas

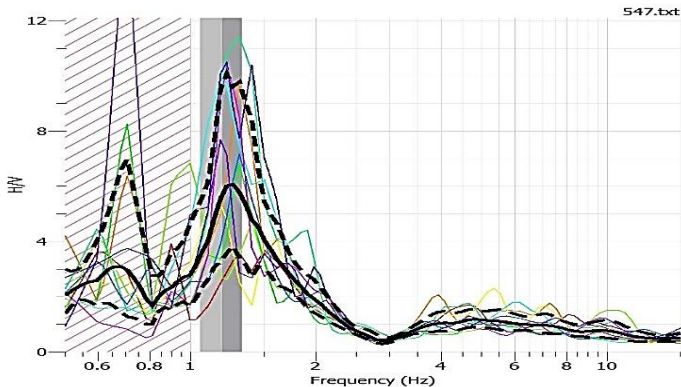
getaran di dalam tanah, namun bisa juga disebabkan oleh aktivitas atau *noise* yang bersumber dari getaran aktivitas manusia sehingga perlu untuk dihindari. Pada gambar 4.3 diperlihatkan proses pemilihan *windowing* pada titik 547.



Gambar 4.3 Proses Pemilihan Window titik 547 pada *software Geopsy*

Setelah dilakukan pemilihan *windowing*, kemudian dilakukan analisis spektrum H/V sehingga didapatkan grafik kurva HVSr pada gambar 4.4. Dalam proses *windowing* digunakan frekuensi *filter band pass* dari 5 Hz hingga 25 Hz, kemudian pada saat proses untuk analisis spektrum menggunakan parameter koreksi *smoothing* tipe Konno & Ohmachi sebesar 40 *bandwidth*, selain itu digunakan fungsi *cosine taper* sebesar 5%. Hasil pengolahan kurva HVSr ini berupa nilai frekuensi natural dan amplifikasi pada titik pengukuran 547, sebesar 1,1916 Hz dan 5,6831. Selanjutnya dilakukan *quality control* hasil kurva HVSr dengan standar SESAME. Dalam standar sesame ini akan dianalisis kurva HVSr

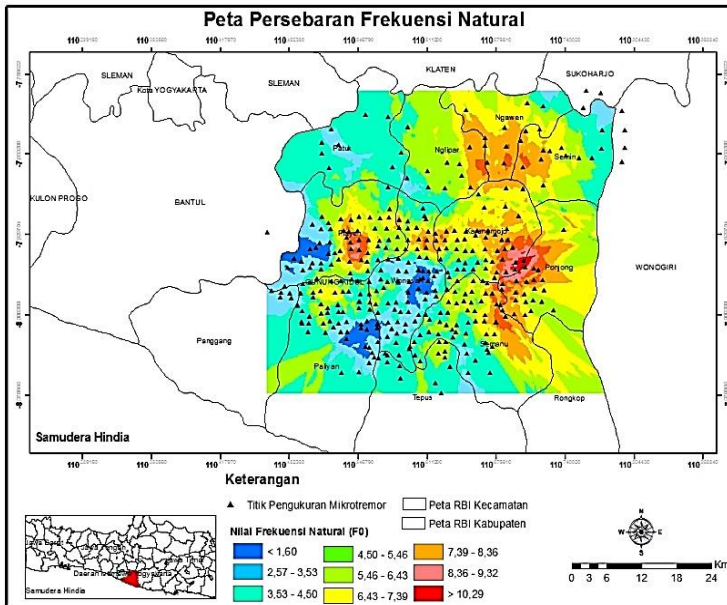
dengan beberapa syarat yang harus dipenuhi agar pengolahan dapat dinilai *reliable* atau bisa dipercaya.



Gambar 4.4 Grafik Kurva HVSr pada titik 547

#### 4.2 Analisis Frekuensi Natural Tanah

Frekuensi natural diperoleh dari kurva HVSr dan dapat dibuat peta persebaran frekuensi natural di wilayah Kabupaten Gunungkidul. Peta tersebut *dioverlay* dengan peta rupa bumi sehingga dapat memudahkan dalam menginterpretasikannya. Berdasarkan penelitian oleh Nakamura, menunjukkan bahwa frekuensi natural hvsr dipengaruhi oleh dua parameter yaitu kecepatan gelombang geser dan kedalaman *bedrock*. Kedalaman *bedrock* berbanding terbalik dengan frekuensi natural sesuai dengan persamaan yang didasarkan oleh (Nakamura, 2008) pada persamaan 2.9 hal ini didukung oleh (Sungkono et al., 2011). Pada penelitian ini terdapat 375 titik pengukuran mikrotremor dan setelah dilakukan pengolahan dengan *geopsy*, didapatkan hasil frekuensi natural berkisar  $<1,60 \text{ Hz}$  hingga  $> 10,29 \text{ Hz}$ .



Gambar 4.5 Peta Sebaran Nilai Frekuensi Natural ( $f_0$ )

Untuk mempermudah pembacaan hasil klasifikasi frekuensi natural yang tersebar di Gunungkidul dapat dilihat dalam Tabel 4.1 dimana penulis mengklasifikasikan berdasarkan nilai frekuensi natural daerah penelitian.

Menurut lembar peta geologi Surakarta dan Girintoro (Surono et al., 1992) Kecamatan Wonosari, Kecamatan Paliyan sebelah timur, dan Kecamatan Playen sebelah barat berada pada formasi punung Wonosari dimana batuan penyusun daerah tersebut merupakan batugamping, batugamping napalan tufan, batu gamping kolongmerat, batupasir tufan dan batulanau. Frekuensi natural erat kaitannya dengan kondisi geologi daerah penelitian (Firman et al., 2014). Artinya daerah yang memiliki frekuensi natural rendah dimungkinkan memiliki karakteristik batuan lunak dan ketebalan sedimen yang tinggi, hal ini dapat menyebabkan

terjebaknya gelombang gempa pada sedimen sehingga, daerah ini dapat menjadi rawan untuk terjadinya multirefleksi gelombang yang menyebabkan tingkat kerawanan bencana gempabumi.

Tabel 4.1 Persebaran nilai frekuensi Natural

No	Nama Kecamatan	Nilai Frekuensi Natural (Hz)	Zona
1	Kecamatan Paliyan	<1,60 – 4,50	Rendah
2	Kecamatan Wonosari	<1,60 – 4,50	Rendah
3	Kecamatan Tepus	2,57 – 4,50	Sedang
4	Kecamatan Patuk	2,57- 4,50	Sedang
5	Kecamatan Ngawen	7,39 – 8,36	Sedang
6	Kecamatan Nglipar	4,50 – 5,46	Sedang
7	Kecamatan Rongkop	4,50 – 7,39	Sedang
8	Kecamatan Semanu	4,50 – 7,39	Sedang
9	Kecamatan Semin	4,50 – 7,39	Sedang
10	Kecamatan Karangmojo	7,39 - >10,29	Tinggi
11	Kecamatan Playen	7,39 – 8,36	Tinggi
12	Kecamatan Ponjong	7,39 - >10,29	Tinggi

Merujuk pada Tabel 2.2 klasifikasi tanah oleh Kanai, daerah yang termasuk zona rendah memiliki frekuensi rendah termasuk ke dalam klasifikasi tanah tipe I, dimana pada daerah Kecamatan Paliyan , Kecamatan Wonosari, Kecamatan Playen dimungkinkan memiliki ketebalan sedimen permukaannya yang sangat tebal. Sedangkan zona tinggi, yaitu zona yang memiliki nilai frekuensi tinggi, termasuk dalam Kecamatan Karangmojo , Kecamatan Playen, dan Kecamatan Ponjong masuk dalam katagori klasifikasi tanah tipe IV jenis II memiliki ketebalan permukaan sedimen yang tipis dan didominasi batuan keras. Menurut Kanai, batuan penyusunnya berupa batuan tersier atau lebih tua, terdiri dari batuan *hard sandy* dan *gravel*. Jika ditinjau dari lembar peta geologi daerah ini termasuk bagian dari formasi semilir, formasi



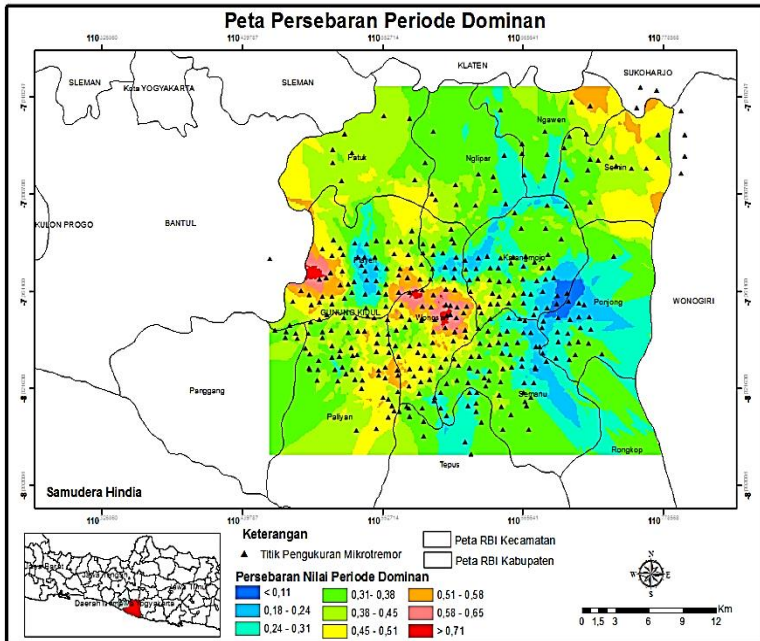
oyo, dan alluvial. Litologi penyusun dari formasi-formasi tersebut diantaranya batu pasir, batu lempung, serpih, batugamping, konglomerat, batu kerakal, dan batu lanau.

#### **4.3 Analisis Periode Dominan Tanah**

Nilai frekuensi natural juga berhubungan dengan periode dominan, dimana jika frekuensi natural rendah akan berbanding terbalik dengan periode dominan tanah sesuai dengan persamaan 2.7. Periode dominan diartikan sebagai waktu yang dibutuhkan gelombang mikrotremor untuk merambat melewati lapisan sedimen. Nilai periode dominan pada daerah penelitian ditunjukkan oleh gambar 4.6. Berdasarkan hasil peta *overlay* pada gambar 4.6 persebaran periode dominan di Kabupaten Gunungkidul berkisar antara nilai  $<0,11$  sekon hingga  $>0,71$  sekon. Kesesuaian terlihat pada Kecamatan Ponjong, dan sebagian Kecamatan Karangmojo memiliki nilai periode dominan yang tergolong rendah berkisar antara  $<0,11$  sekon hingga  $0,31$  sekon yang berbanding terbalik dengan nilai frekuensi naturalnya. Kemudian untuk Kecamatan Wonosari dan Kecamatan Playen bagian barat berbatasan langsung dengan Kabupaten Bantul, menunjukkan nilai periode dominan yang tinggi berkisar dari  $0,51$  sekon hingga  $>0,71$  sekon.

Sementara itu, sebagaimana pada gambar 4.6 nilai periode dominan dapat digunakan untuk mengidentifikasi tingkat kekerasan batuan penyusun yang terdapat dalam lokasi penelitian, jika diidentifikasi dari data penelitian Kabupaten Gunungkidul dan dikorelasikan dengan hasil klasifikasi tanah Kanai dan Zhao Kecamatan yang memiliki nilai periode dominan tinggi memiliki karakter batuan penyusun yang sangat lunak dalam hal ini Kecamatan Wonosari dan Kecamatan Playen bagian Barat berada pada batuan penyusun yang sangat lunak dan masuk ke dalam klasifikasi tanah jenis IV dan jika melihat pada site classification yang dilakukan oleh (Zhao et al., 2004) dengan mengacu pada NEHRP termasuk dalam site classes IV kelas E. Sebaliknya Kecamatan Ponjong, Kecamatan Playen bagian timur, dan

Kecamatan Karangmojo masuk dalam klasifikasi tanah jenis I dan termasuk site classes I atau kelas A dan B berada pada batuan penyusun yang keras.



Gambar 4.6 Peta Sebaran Nilai Periode Dominan Tanah

Berdasarkan tingkat kekerasan, jika semakin lunak penyusun batuan disuatu tempat akan menyebabkan kerawanan risiko terjadi gempabumi yang lebih besar dan sebaliknya. Hal ini disebabkan karena nilai periode dominan berkaitan dengan guncangan saat terjadi gempabumi. Nilai periode dominan berbanding lurus dengan faktor amplifikasi atau penguatan guncangan gempabumi. Pada kondisi tanah yang memiliki batuan penyusun lunak akan mengalami risiko kerawanan gempa yang lebih besar daripada daerah yang berada pada kondisi tanah yang memiliki batuan penyusun keras. Beberapa kondisi geologi memaparkan bukti

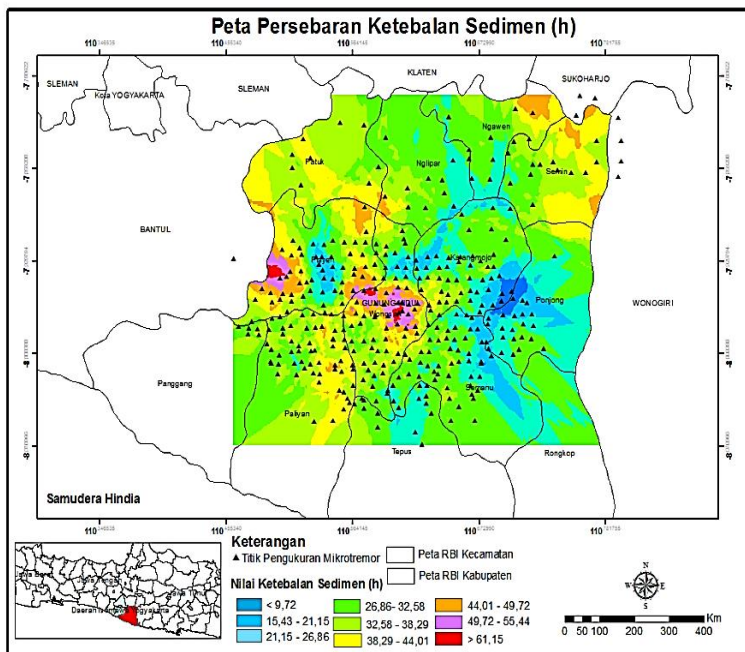
bahwa bangunan yang berdiri pada batuan penyusun lunak akan mengalami kerusakan yang parah seperti penelitian pada gempa Michoacan di Mexico tahun 1985 yang terjadi di atas lapisan lunak batuan sedimen menyebabkan kerusakan parah pada kota.

#### **4.4 Analisis Ketebalan Lapisan Sedimen (h)**

Ketebalan lapisan sedimen lokasi penelitian ini ditentukan berdasarkan frekuensi natural yang terukur dan kecepatan gelombang geser pada permukaan tanah ( $V_{s30}$ ). Nilai  $V_{s30}$  yang digunakan berasal dari data penelitian sebelumnya, nilai  $V_{s30}$  di daerah Yogyakarta sebesar 340 m/s. Kemudian dihitung menggunakan persamaan 2.9. Secara matematis ketebalan lapisan sedimen berbanding lurus dengan kecepatan rambat gelombang geser rata-rata dan berbanding terbalik dengan frekuensi natural. Daerah penelitian yang berlokasi di Gunungkidul menunjukkan bahwa nilai ketebalan lapisan sedimen tertinggi berada pada Kecamatan Wonosari dan Kecamatan Playen bagian barat mempunyai kisaran nilai 44,01 m hingga >61.15 m. Sebagian besar Kabupaten Gunungkidul sebelah timur memiliki nilai ketebalan sedimen (h) yang rendah termasuk diantaranya adalah Kecamatan Karangmojo, Kecamatan Ponjong, sisi sebelah timur Kecamatan Semanu, dan Kecamatan Tepus sisi utara memiliki nilai ketebalan lapisan sedimen sebesar < 9.72 m hingga 32,58 m. Sedangkan untuk ketebalan lapisan sedimen kisaran 32.58 m hingga 49.722 m merupakan daerah yang memiliki ketebalan lapisan sedimen sedang.

Dari gambar 4.7 dapat terlihat bahwa wilayah Kecamatan Wonosari dan Kecamatan Playen memiliki nilai ketebalan sedimen tertinggi di lokasi pengukuran. Berdasarkan pengaruh terhadap gempa dapat diestimasi bahwa ketika lapisan sedimen memiliki nilai yang besar akan berkorelasi dengan frekuensi natural yang memiliki nilai rendah, dimana amplitudo yang akan dihasilkan akan semakin besar. Gelombang gempa akan terjebak pada lapisan sedimen yang tebal sehingga gelombang hanya beresilasi tanpa diteruskan. Ketika gelombang gempa memiliki

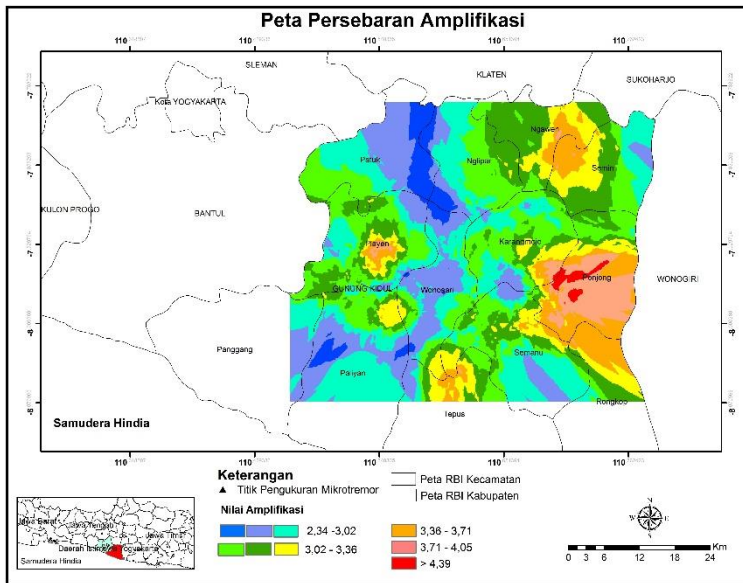
frekuensi sama ataupun lebih besar maka gelombang akan mengalami penguatan yang tinggi sehingga daerah yang memiliki ketebalan sedimen yang tebal akan rawan terhadap gempa bumi. Sesuai dengan peta zonasi frekuensi natural dan peta zonasi periode dominan hal ini berkorelasi bahwa Kecamatan Playen sisi barat dan Kecamatan Wonosari memiliki nilai frekuensi natural, nilai periode dominan rendah dan memiliki nilai ketebalan sedimen yang tinggi.



Gambar 4.7 Peta Sebaran Nilai Ketebalan Sedimen

#### 4.5 Analisis Faktor Amplifikasi

Faktor amplifikasi merupakan faktor yang berkaitan dengan penguatan gelombang. Hasil nilai amplifikasi pada daerah penelitian ditunjukkan pada gambar 4.9.



Gambar 4.8 Peta Sebaran Nilai Amplifikasi

Menurut Nakamura (2000) faktor amplifikasi berhubungan dengan faktor perbandingan kontras impedansi antara lapisan sedimen di permukaan dan *bedrock* yang ada dibawahnya. Apabila kontras impedansi untuk kedua lapisan ini tinggi maka nilai amplifikasi juga tinggi begitu pula sebaliknya apabila kontras impedansi kedua lapisan rendah maka, nilai amplifikasi juga rendah. Sesuai dengan (Sungkono et al., 2011) menyatakan bahwa daerah yang rawan terkena guncangan gempa, terjadi pada daerah yang memiliki faktor amplifikasi getaran gempa berada pada lapisan sedimen lunak dengan *bedrock* yang keras. Keadaan

tersebut menyatakan bahwa terdapat perbedaan kontras impedansi yang tinggi antara lapisan sedimen dan *bedrock* yang besar. Pada lapisan sedimen yang lunak akan memiliki durasi penjalaran gelombang dengan waktu yang lama, dan akan memperbesar faktor nilai amplifikasinya. Daerah penelitian yang menggambarkan nilai amplifikasi tinggi berada pada Kecamatan Ponjong. Jika dilihat dari peta persebaran titik pengukuran mikrotremor, daerah yang berada disisi timur Kabupaten Gunungkidul terlihat bahwa jarang ada titik pengukuran mikrotremor hal ini dimungkinkan, saat pengukuran yang terekam bukan getaran alami dari tanah melainkan getaran dari sumber lain.

Menurut Nakamura (2000), nilai amplifikasi yang berbahaya berada pada nilai  $>3$  dan berkorelasi dengan frekuensi yang rendah. Daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang tinggi dimungkinkan akan terjadi penguatan gelombang yang lebih besar daripada daerah yang memiliki nilai amplifikasi yang kecil. Pada daerah yang berada pada zona amplifikasi tinggi jika terjadi gempa dimungkinkan dapat terjadi potensi guncangan gempa yang kuat. Nilai amplifikasi tanah dapat digunakan untuk korelasi dengan peta zonasi periode dominan (Hardaningrum et al., 2016). Pada penelitian ini nilai amplifikasi di Kecamatan Playen dan sekitar Kecamatan Wonosari tergolong tinggi dari nilai amplifikasi titik pengukuran lain dan jika dikorelasikan dengan peta zonasi frekuensi natural sebelumnya antara nilai amplifikasi dan nilai frekuensi natural berkesesuaian. Hal ini dimungkinkan jika terjadi gempa daerah ini akan mengalami kerusakan yang lebih parah dari daerah lain di Kabupaten Gunungkidul.

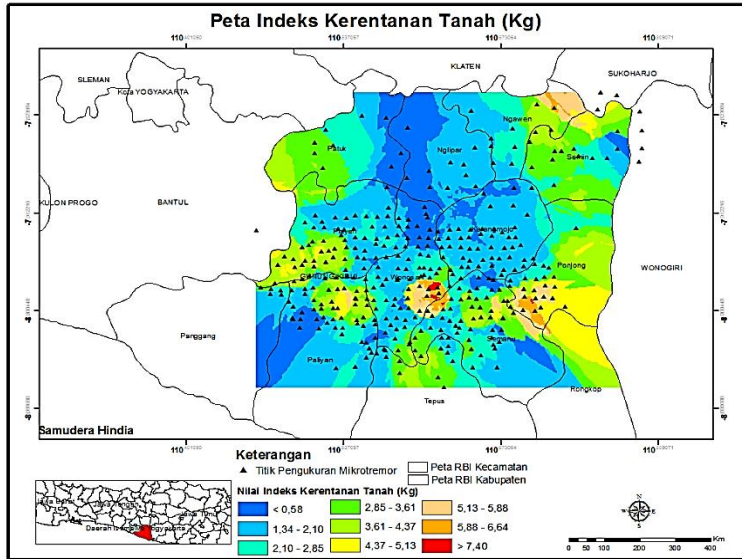
#### **4.6 Analisis Indeks Kerentanan Seismik (Kg)**

Indeks kerentanan seismik atau indeks kerentanan tanah diperoleh berdasarkan nilai dari frekuensi natural dan faktor amplifikasi. Dari hasil overlay dengan peta rupa bumi, diperoleh daerah yang memiliki indeks kerentanan seismik (Kg) di daerah Kabupaten Gunungkidul oleh gambar 4.9. Analisis indeks kerentanan seismik ini menunjukkan kerentanan seismik akibat

yang ditimbulkan oleh gempa bumi. Hasil analisis mikrotremor menggunakan HVSR menunjukkan indeks kerentanan tanah ( $K_g$ ) daerah penelitian bervariasi kisaran antara  $<0,58 \text{ cm/s}^2$  hingga  $>7,40 \text{ cm/s}^2$ .

Berdasarkan daerah penelitian memiliki rentang nilai indeks kerentanan tertinggi kisaran antara  $5,13 \text{ s}^2/\text{cm}$  hingga  $> 7,40 \text{ s}^2/\text{cm}$  berada pada sekitar Kecamatan Wonosari. Nilai indeks kerentanan seismik berkaitan dengan tingkat kerawanan suatu wilayah dari ancaman gempa bumi terhadap kerusakan yang ditimbulkan gempa bumi. Apabila nilai indeks kerentanan seismik semakin besar maka tingkat resiko kerusakan yang ditimbulkan akan semakin besar pula. Hal ini juga berkaitan dengan kondisi geologi daerah setempat dimana indeks kerentanan seismik yang tinggi, memiliki frekuensi natural yang rendah. Sesuai dengan nilai frekuensi pada pembahasan sebelumnya bahwa daerah Kecamatan Wonosari termasuk dalam nilai frekuensi natural yang rendah sehingga dapat dimungkinkan bahwa lapisan sedimen yang terkandung pada daerah tersebut relatif memiliki ketebalan sedimen yang tebal dan berada pada lapisan lunak. Sehingga apabila lapisan permukaan sedimen tebal disertai penguatan gelombang seismik atau nilai amplifikasi yang besar pula.

Mengacu pada peta geologi daerah Surakarta wilayah Kecamatan Wonosari memiliki material penyusun yang terdiri dari batuan gamping, batugamping napalan-tufan, batugamping konglomerat, batupasir tufan dan batu lanau. Menurut material penyusun batuan tersebut memiliki karakteristik densitas yang dimiliki jenis batuan ini relatif kecil karena material penyusun batuan ini tergolong mempunyai sifat meloloskan air rendah hingga sedang (Sugianto et al., 2016). Jika semakin padat batuan atau densitasnya tinggi maka tingkat kerusakan bangunan akan relatif kecil dan sebaliknya. Batuan sedimen lunak dapat juga menjadi salah satu faktor amplifikasi gelombang gempa. Akibat kerentanan seismik menjadi tinggi.

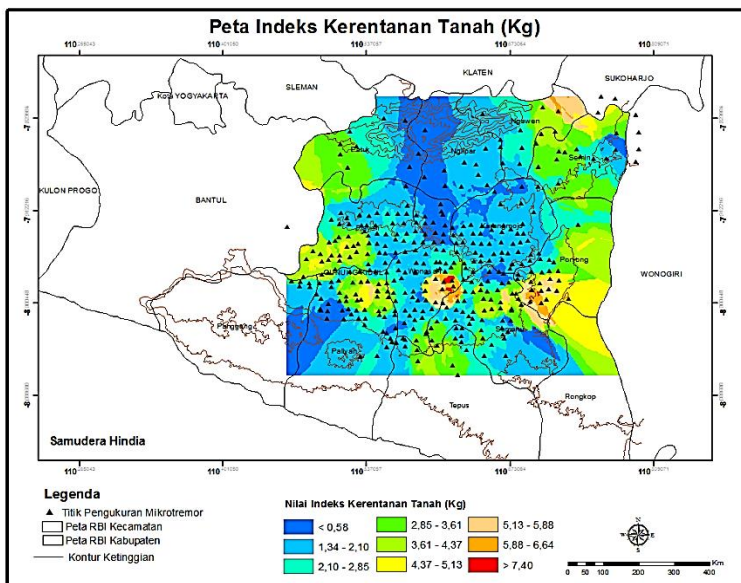


Gambar 4.9 Peta Persebaran Nilai Kerentanan Tanah (Kg)

Apabila nilai indeks kerentanan tanah (kg) dioverlay dengan peta kontur ketinggian secara umum nilai indeks kerentanan tanah atau kerentanan seismik bernilai rendah terkonsentrasi pada daerah yang berada pada dataran tinggi atau daerah perbukitan. Kecamatan yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik rendah berada pada Kecamatan Ngawen bagian Barat, Kecamatan Karangmojo, Kecamatan Nglipar, Kecamatan Patuk bagian Utara dan bagian Timur, Kecamatan Paliyan, Kecamatan Playen bagian Utara dan bagian Timur, dan Kecamatan Semanu bagian Selatan. Hal ini mendukung pendapat Daryono (2011), di mana indeks kerentanan seismik menggambarkan tingkat kerentanan lapisan tanah permukaan terhadap deformasi saat terjadi gempabumi, yang berkaitan dengan kondisi geomorfologisnya yang mana pada daerah alluvial nilai indeks kerentanan seismik menunjukkan nilai yang tinggi sedangkan daerah perbukitan menunjukkan nilai indeks kerentanan seismik yang rendah (Daryono, 2011). Nakamura juga menyampaikan bahwa dalam penelitiannya di



distrik Marina San Fransisco, daerah yang mengalami kerusakan parah berada pada dataran yang memiliki kondisi geologi alluvium yaitu berada di daerah pantai yang memiliki nilai indeks kerentanan seismik tinggi (Nakamura, 2000). Nilai indeks kerentanan seismik semakin mengecil ketika memasuki daerah perbukitan yang mana memiliki kondisi struktur batuan yang lebih keras sehingga tidak mengalami kerusakan yang cukup parah akibat yang ditimbulkan oleh gempabumi.



Gambar 4.10 Peta Persebaran Nilai Kerentanan Tanah (Kg) dioverlay dengan kontur ketinggian daerah penelitian

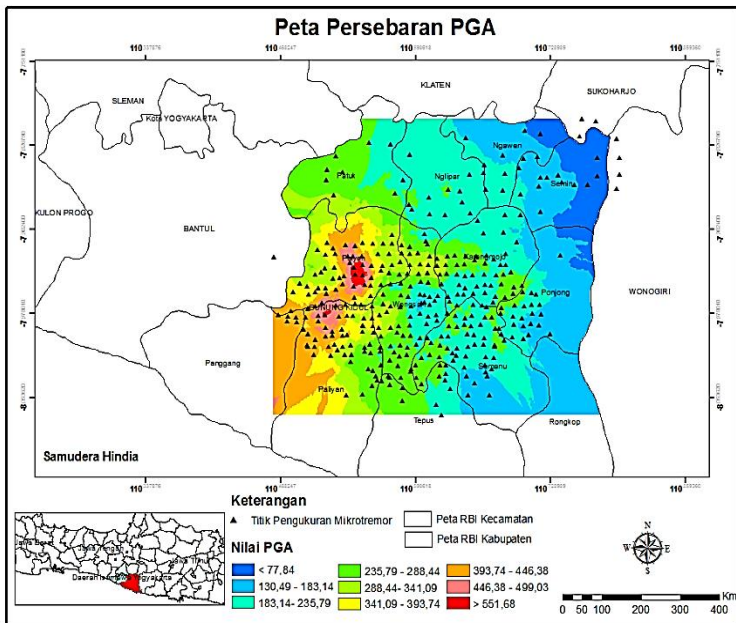
#### 4.7 Analisis Peak Ground Acceleration (PGA)

Analisis percepatan getaran tanah atau *peak ground acceleration* (PGA) merupakan parameter yang sering digunakan untuk mengestimasi tingkat kerusakan akibat guncangan gempabumi. Untuk menghitung besarnya nilai percepatan tanah maksimum di daerah penelitian diperoleh berdasarkan pendekatan

rumus empiris menggunakan metode Kanai. Persamaan metode Kanai yang digunakan untuk perhitungan PGA sesuai dengan persamaan 2.20. Perhitungan nilai percepatan getaran tanah diperoleh dengan menggunakan masukan nilai dari periode dominan tanah, *magnitude* gempa, dan jarak hiposenter terhadap lokasi penelitian yang selanjutnya dibuat peta *overlay* nilai percepatan getaran tanah yang ditunjukkan seperti pada gambar 4.13, sehingga diketahui persebaran nilai PGA di Kabupaten Gunungkidul. Pada penelitian ini penulis menggunakan referensi gempa tanggal 27 Mei 2006.

Hasil analisis percepatan getaran tanah menggunakan metode Kanai pada titik-titik pengukuran bervariasi kisaran antara <77,84 gal hingga >551,68 gal. Berdasarkan peta persebaran nilai percepatan tanah pada gambar 4.11 menunjukkan bahwa nilai p tiga zona berdasarkan perhitungan nilai percepatan getaran tanah maksimum yaitu zona yang memiliki nilai rendah hingga tinggi. Berdasarkan tabel 4.2 dapat diklasifikasikan menurut nilai percepatan getaran tanah sisi sebelah barat menunjukkan nilai PGA Gunungkidul tinggi namun mendekati semakin menuju ke arah timur memiliki nilai percepatan tanah (PGA) rendah yaitu pada Kecamatan Ngawen, Kecamatan Nglipar, Kecamatan Ponjong, Kecamatan Rongkop, Kecamatan Semanu dan Kecamatan Semin. Nilai percepatan tanah untuk daerah penelitian berada pada kisaran <77,84 gal sampai dengan 235,79 gal.

Sedangkan daerah penelitian yang berada pada percepatan getaran tanah maksimum yang tinggi adalah Kecamatan Playen, Kecamatan Paliyan, dan sekitar Kecamatan Wonosari yang memiliki tingkat resiko gempa lebih besar daripada Kecamatan lain 393,74 gal sampai dengan > 551,68 gal. daerah yang memiliki nilai percepatan tanah maksimum tinggi mengindikasikan bahwa apabila terjadi gempa bumi yang berepisenter di sekitar gempa Yogyakarta pada masa yang akan datang maka pergerakan tanah di lokasi tersebut dimungkinkan akan mengalami pergerakan tanah yang lebih cepat dan durasi yang lebih singkat dari lokasi lain.



Gambar 4.11 Peta Persebaran Nilai Percepatan Tanah (PGA)  
Untuk memudahkan pembacaan dibuat tabel seperti berikut:

Tabel 4.2 Persebaran Nilai PGA (gal)

No	Nama Kecamatan	Nilai PGA (gal)	Zona
1	Kecamatan Ngawen	130-235,79	Rendah
2	Kecamatan Nglipar	130-235,79	Rendah
3	Kecamatan Ponjong	<77,84 – 235,79	Rendah
4	Kecamatan Rongkop	130,49 – 235,79	Rendah
5	Kecamatan Semanu	130,49 – 235,79	Rendah
6	Kecamatan Semin	<77,84 – 235,79	Rendah
7	Kecamatan Wonosari	235,79 -393,74	Sedang
8	Kecamatan Karangmojo	235,79 – 393,74	Sedang
9	Kecamatan Patuk	235,79 – 341,09	Sedang
10	Kecamatan Tepus	235,79 -288,44	Sedang
11	Kecamatan Paliyan	393,74- >551,68	Tinggi

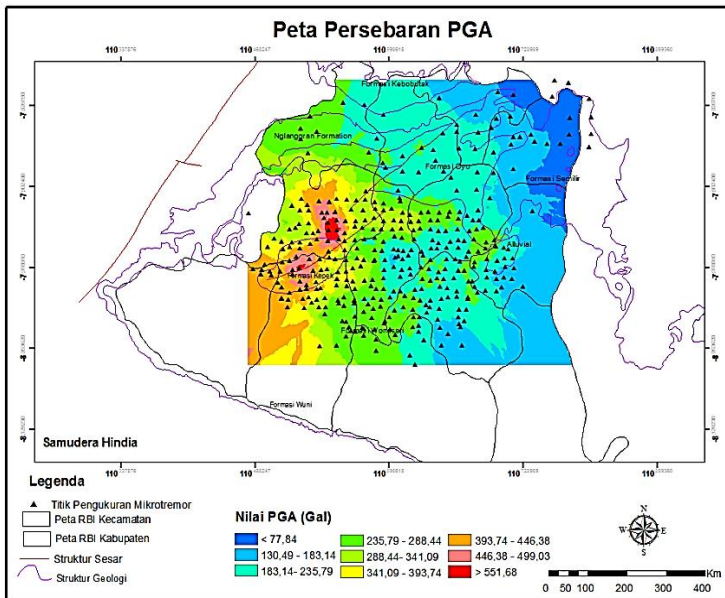
12	Kecamatan Playen	393,74 – 446,36	Tinggi
----	------------------	-----------------	--------

Formasi batuan merupakan parameter penting yang berpengaruh terhadap pergerakan tanah (Burton and Xu, 2003) . Dimana setiap formasi memiliki litologi yang berbeda yang dapat diwakili oleh densitas batuan sebagai salah satu karakter fisis dari satuan batuan penyusun. Nilai densitas batuan dipengaruhi oleh kedalaman dan umur batuan tersebut. Batuan yang berada pada posisi bawah merupakan formasi batuan tertua karena semakin dalam batuan tersebut semakin terbebani oleh material diatasnya sehingga batuan tersebut semakin kompak dan densitasnya semakin besar. Untuk itu dilakukan *overlay* peta persebaran PGA dengan peta struktur geologi daerah penelitian seperti pada gambar 4.12 untuk mengetahui daerah mana saja yang diperkirakan terkena dampak gempa bumi.

Pada gambar 4.12 dilakukan *overlay* nilai PGA dengan struktur geologi daerah penelitian yang mana daerah yang memiliki nilai PGA tinggi berada pada Kecamatan Playen dan Kecamatan Paliyan menunjukkan bahwa formasi batuan penyusun kecamatan tersebut adalah formasi Kepek. Litologi penyusun formasi kepek terdiri dari napal dan batugamping berlapis. Dari gambar 4.12 terlihat bahwa ketika dilakukan *overlay* dengan struktur sesar yang terdapat di daerah tersebut Nampak bahwa daerah Kecamatan Playen dan Kecamatan Paliyan berdekatan dengan Sesar Opak yang mana pada gempa 2006 Yogyakarta diduga berpusat pada Sesar Opak. Hal ini dimungkinkan nilai PGA yang besar dapat bersumber dari asal gempa bumi yang terjadi di daerah tersebut.

Berdasarkan tim penelitian revisi gempa Indonesia yang menyusun peta seismik hazard Indonesia tahun 2010, merivisi peta percepatan gempa maksimum dibatuan dasar Indonesia tahun 2002 yang digunakan dalam SNI 03-1726-2002 , hasil studi PSHA pada peta hazard terlihat bahwa wilayah Yogyakarta mempunyai nilai percepatan getaran tanah (PGA) di batuan dasar sebesar 0,2 g – 0,25 g atau setara dengan 200 – 250 gal (Irsyam et al., 2010).

Hasil tersebut sesuai dengan penelitian daerah Gunungkidul bahwa rata-rata nilai PGA berada pada rentang 235,79 gal – 393,74 gal.



Gambar 4.12 Peta *overlay* nilai PGA dengan struktur geologi

Hasil analisis daerah bahaya gempabumi di Kabupaten Gunungkidul didasarkan pada nilai PGA yang diperoleh dari perhitungan Kanai menggunakan data mikrotremor dikarenakan PGA yang diperoleh dari metode Kanai sudah mencakup seluruh nilai karakteristik dinamika tanah, yang tercermin dari frekuensi natural atau frekuensi dominan, periode dominan tanah, dan ketebalan sedimen. Berdasarkan korelasi dari enam parameter yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa daerah yang rawan ketika terjadi gempabumi dan menyebabkan kerusakan yang parah dari daerah lain, berada di sisi barat Kabupaten Gunungkidul tepatnya berada di Kecamatan Playen, Kecamatan Paliyan, dan Kecamatan Wonosari.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **BAB V**

### **KESIMPULAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan dari hasil pengolahan data dan interpretasi data mikrotremor di daerah Gunungkidul Yogyakarta, maka didapatkan kesimpulan sebagai berikut:

1. Karakteristik dinamika tanah berdasarkan frekuensi natural, periode dominan, ketebalan sedimen (h), amplifikasi, dan indeks kerentanan tanah (Kg) tersebar di sisi sebelah barat Kabupaten Gunungkidul
2. Mikrozonasi berdasarkan penelitian dapat diketahui kecamatan yang memiliki tingkat kerusakan yang tinggi apabila terjadi gempabumi yaitu Kecamatan Playen, Kecamatan Paliyan, dan Kecamatan Wonosari yang memiliki nilai percepatan getaran tanah maksimum (PGA) 393,74 gal - > 551,68 gal.

#### **5.2 Saran**

Setelah dilakukannya penelitian ini maka diperoleh beberapa hal yang dapat disarankan untuk menjadi bahan perbandingan dalam penelitian yang akan lebih lanjut, di antara lain sebagai berikut :

1. Diperlukannya data pendukung seperti data pemboran untuk melihat keakuratan dari litologi penyusun batuan di daerah penelitian.
2. Diperlukannya analisis lebih lanjut terhadap hasil interpretasi untuk mengetahui nilai karakteristik dinamika tanah yang ada di Kabupaten Gunungkidul, Yogyakarta.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR PUSTAKA

- Arifin, S.S., Marjiyono, Mulyanto, B.S., 2014. Penentuan Zona Rawan Guncangan Bencana Gempa Bumi Berdasarkan Analisis Nilai Amplifikasi HVSr Mikrotremor Dan Analisis Periode Dominan Daerah Liwa dan Sekitarnya. J. Geofis. Eksplor. 2 No. 1.
- Burton, P.W., Xu, Y., 2003. Strong ground acceleration seismic hazard in Greece and neighboring regions. Elsevier Sci. Ltd 23.
- Daryono, 2011. Indeks Kerentanan Tanah (Kg) Berdasarkan Mikrotremor pada setiap satuan bentuk lahan di zona Graben, Bantul. Disertasi Tidak Publ. Univ. Gajahmada Yogyakarta.
- Daryono, 2009. Aktivitas Gempabumi Tektonik di Yogyakarta Menjelang Erupsi Merapi 2010. BMKG.
- Edwiza, D., Novita, S., 2008. PEMETAAN PERCEPATAN TANAH MAKSIMUM DAN INTENSITAS SEISMIK KOTA PADANG PANJANG MENGGUNAKAN METODE KANAI. J. Ilm. Unand No. 29 Vol.2 Thn. XV April 2008.
- Elnashai, A.S., Kim, S.J., Gun Ji Yun, 2006. The Yogyakarta Eartquake of May 27, 2006. Am. Eartquake Cent. Univ. Ill. Urbana Champaign.
- Firman, S., Bahri, A.S., Juan Pandu, 2014. Microtremor study of Gunung Anyar mud volcano, Surabaya, East Java. Am. Inst. Phys.
- Hardaningrum, O., Sulaeman, C., Supriyana, E., 2016. Zonasi Rawan Bencana Gempa Bumi Kota Malang Berdasarkan Analisis Horizontal Vertical to Spectral Ratio (HVSr). Pros. Semin. Nas. MIPA Pus. Vulkanol. Dan Mitigasi Bencana Badan Geol.
- Husein, S., Pramumijoyo, S., Karnawati, D., 2010. Pemetaan Zonasi Mikro Kerentanan Gempabumi Propinsi D.I. Yogyakarta. Simp. Geol. Yogyak. - 23 Maret 2010.

- Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., 2010. Ringkasan Hasil Studi Tim Revisi Gempa Indonesia 2010. Inst. Teknol. Bdg.
- Juan Pandu, Bahri, A.S., Wahyudi, 2012. Analisa Mikrotremor HVSR untuk Memetakan Potensi Likuifaksi Di Daerah Pesisir Kec. Pacitan. J. Fis. Dan Apl.
- Nakamura, Y., 2000. Clear Identification Of Fundamental Idea of Nakamura's Technique and Its Applications. Roc XII World Conf. Earthq. Eng. N. Z. 2656.
- Nakamura, Y., 1997. Seismic Vulnerability Indices for Ground and Structures Using Mikrotremor. World Congr. Railw. Res. Florence Nov.
- Natawidjaja, D.H., 2016. Misteri Patahan Sumber Gempa Yogya 2006. Pus. Penelit. Geoteknologi LIPI.
- National Geographic, n.d. Deadly Java Quake Highlights Ring Of Fire Dangers [WWW Document]. Natl. Geogr. URL <http://news.nationalgeographic.com/news/2006/05/060530-java-quake.html> (accessed 2.14.17).
- Riyanto, S., Purwanto, A., 2009. Alogaritma Fast Fourier Transform (FFT) Decimation inTime (DIT) Dengan Resolusi 1/10 Hertz. Pros. Semin. Penelit. Pendidik. Dan Penerapan MIPA.
- Seed, H., Idriss, I., Arango, 1983. Evaluation Of Liquifaction Potensial Using Field Performance Data. J. Geotech. Enginering ASCE 109 458-482.
- Slob, S., 2007. Micro Seismic HAZards Analysis. Neth. Int. Inst. Geo-Inf. Sci. Earth Obs.
- Soehaimi, A., 2008. Seismoteknik dan Potensi Kegempaan Wilayah Jawa. J. Geol. Indones. 3.
- Sugianto, N., Farid, M., Suryanto, W., 2016. Local Geological Condition Of Bengkulu City Based on Seismic Vulnerability Index (Kg). ARPN J. Eng. Appl. Sci. 11.
- Sungkono, Warnana, D.D., Utama, W., 2011. Evaluation of Buildings Strength from Mikrotremor Analyses. Int. J. Civ. Environ. Eng. IJCEE-IJENS Vol 11 No 05.

- Supartoyo, Abdurahman, E.K., n.d. Kejadian Gempa Bumi Merusak di Indonesia Tahun 2007. Pengamatan Gempa Bumi Dan Gerak. Tanah 2008.
- Surono, Toha, B., Sudarno, 1992. Peta Geologi Lembar Surakarta-Giritontro, Jawa, Skala 1:100.000. Pus. Penelit. Dan Pengemb. Geol. Bdg.
- Triutomo, S., Sudinda, T.W., 2011. Indeks Rawan Bencana Indonesia. Badan Nasional Penanggulangan Bencana.
- Zhao, J.X., Irikura, K., Zhang, J., Fukushima, Y., 2004. SITE CLASSIFICATION FOR STRONG-MOTION STATIONS IN JAPAN USING H/V RESPONSE SPECTRAL RATIO. 13th World Conf. Earthq. Eng. Vanc. BC Can.

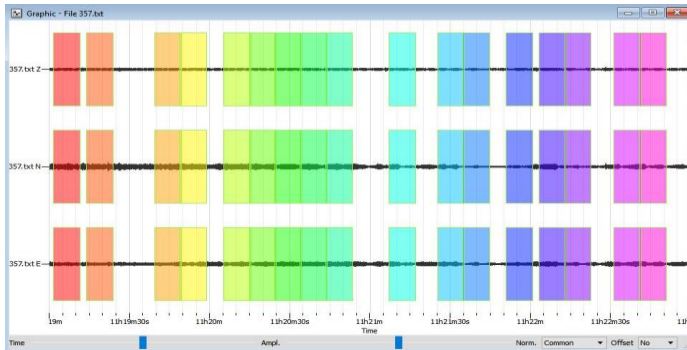
*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LAMPIRAN

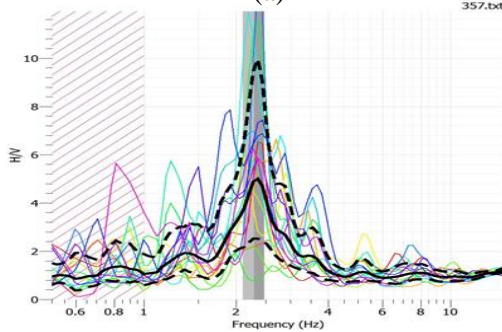
### Lampiran 1

#### HASIL ANALISIS HVSR TANAH DENGAN SOFTWARE GEOPSY

##### 1. HVSR Titik 357



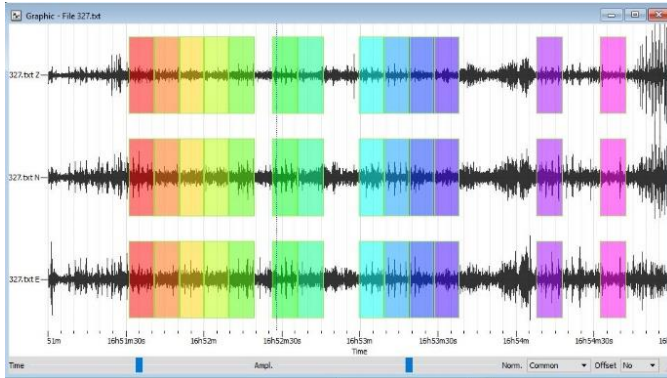
(a)



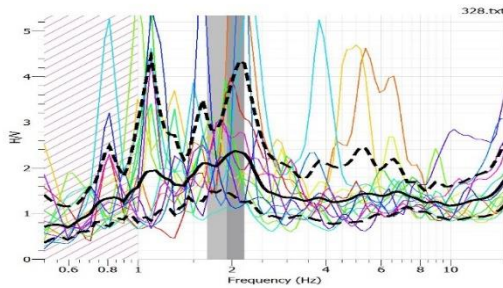
(b)

Analisis HVSR Titik 357 dihasilkan gambar (a) merupakan data mikrotremor yang telah dilakukan pemilihan window sebanyak 17 buah. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis menggunakan software Geopsy. Dengan koreksi smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth dan taper fungsi cosines 5% dihasilkan frekuensi natural 2.283 Hz, Amplifikasi 4.9162

## 2. HVSr Titik 327



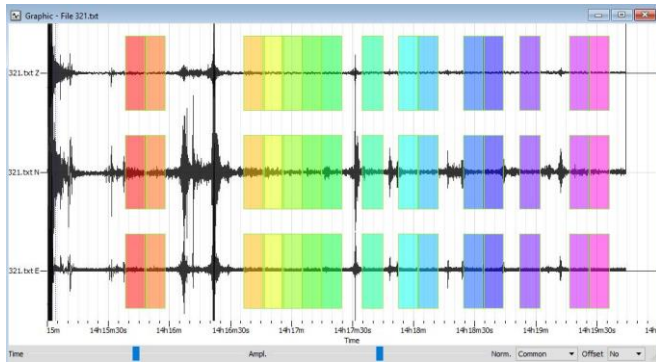
(a)



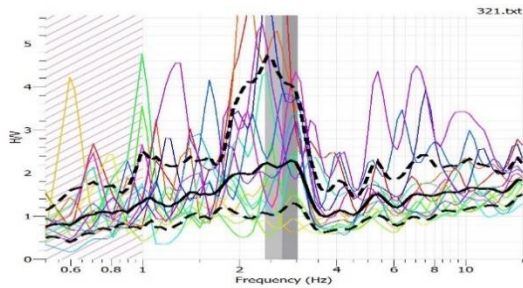
(b)

Analisis HVSr Titik 328 dihasilkan gambar (a) merupakan data mikrotremor yang telah dilakukan pemilihan window sebanyak 13 buah. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis menggunakan software Geopsy. Dengan koreksi smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth dan taper dungsii cosines 5% dihasilkan frekuensi natural 1.9299 Hz , Amplifikasi 2.2705

### 3. HVSR Titik 321



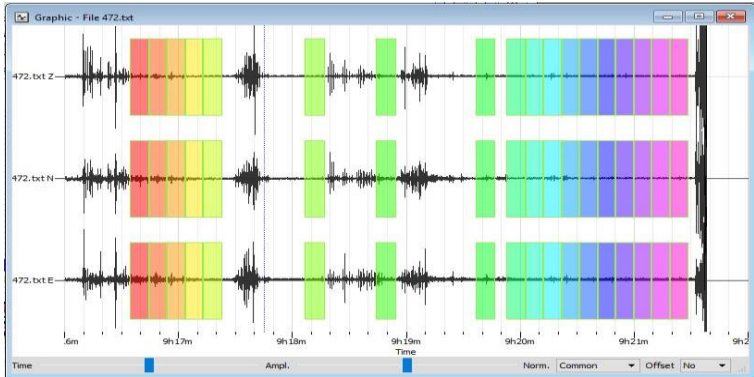
(a)



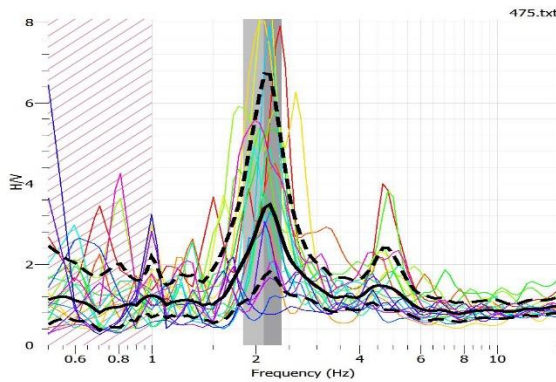
(b)

Analisis HVSR Titik 321 dihasilkan gambar (a) merupakan data mikrotremor yang telah dilakukan pemilihan window sebanyak 15 buah. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis menggunakan software Geopsy. Dengan koreksi smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth dan taper fungsi cosines 5% dihasilkan frekuensi natural 2.7094 Hz, Amplifikasi 2.178

#### 4. HVSr Titik 472



(a)

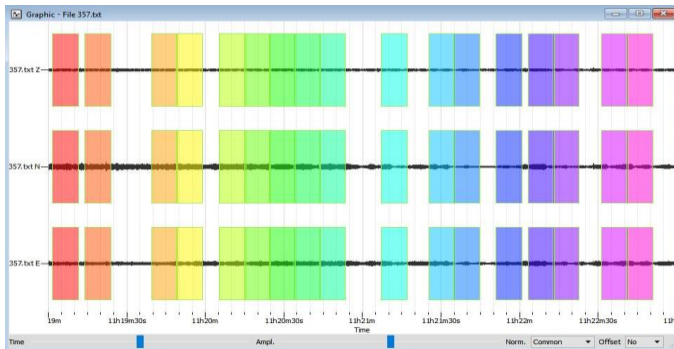


(b)

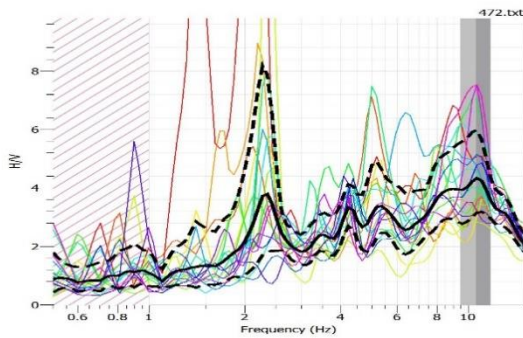
Analisis HVSr Titik 472 dihasilkan gambar (a) merupakan data mikrotremor yang telah dilakukan pemilihan window sebanyak 18 buah. Gambar (b) merupakan kurva HVSr hasil analisis menggunakan software Geopsy. Dengan koreksi smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth dan taper dungsi cosines 5% dihasilkan frekuensi natural 2,1058 Hz, Amplifikasi 3.351



## 5. HVSR Titik 357



(a)



(b)

Analisis HVSR Titik 357 dihasilkan gambar (a) merupakan data mikrotremor yang telah dilakukan pemilihan window sebanyak 17 buah. Gambar (b) merupakan kurva HVSR hasil analisis menggunakan software Geopsy. Dengan koreksi smoothing Konno dan Ohmachi dengan 40 bandwidth dan taper dungsi cosines 5% dihasilkan frekuensi natural 2.2833 Hz, Amplifikasi sebesar 4.9162

## Lampiran 2

### Hasil Nilai Perhitungan Karakteristik Dinamika Tanah

Nama Titik	Parameter Karakteristik Dinamika Tanah					
	$f_0$ (Hz)	$A_0$	$T_0$ (sekon)	$K_g$ (cm/s <sup>2</sup> )	$H$ (m)	PGA (gal)
84	1.7512	3.8403	0.571037	8.421599	48.53815	211.63
116	2.6179	0.0171	0.381986	0.000112	32.46877	239.1056
69	1.2876	2.0275	0.776639	3.192572	66.01429	172.6821
XTR 1	12.0081	2.2169	0.083277	0.409278	7.078555	486.1988
XTR 2	2.6529	0.9834	0.376946	0.364535	32.04041	196.9244
XTR 3	3.7573	1.4755	0.266149	0.579432	22.62263	220.8006
257	3.5547	1.636	0.281318	0.752946	23.912	207.8149
255	2.2174	1.7115	0.450979	1.321021	38.33318	182.3368
211	1.6385	1.2226	0.610314	0.912268	51.87672	169.4978
209	1.1901	1.874	0.840266	2.950908	71.42257	155.7877
253	8.7959	1.853	0.113689	0.390365	9.663593	380.8549
295	2.7737	1.306	0.360529	0.614932	30.64499	192.3749
294	1.8587	1.1351	0.53801	0.693201	45.73089	162.8295
331	3.7032	1.9423	0.270037	1.018721	22.95312	213.832
370	13.6927	7.1463	0.073032	3.729696	6.207687	367.3328
332	12.1434	3.6563	0.082349	1.100889	6.999687	362.8917
333	1.0096	3.2929	0.990491	10.74009	84.19176	68.62039
371	1.068	1.7104	0.93633	2.739202	79.58801	95.13777
408	1.9093	1.2533	0.523752	0.822689	44.51893	119.5405
409	11.234	3.6496	0.089015	1.185649	7.566317	285.2777
445	14.2836	5.6845	0.07001	2.262283	5.950881	301.2765
477	11.0069	1.9194	0.090852	0.334708	7.722429	239.8952
502	4.6714	3.6164	0.214069	2.799664	18.19583	151.1038
523	1.079	1.449	0.926784	1.945877	78.77665	67.76896

546	1.1498	0.8181	0.869716	0.58209	73.9259	61.4062
547	1.1916	5.6831	0.839208	27.10442	71.33266	60.40131
441	1.6588	1.3977	0.602845	1.177698	51.24186	113.7445
440	2.471	1.9233	0.404694	1.496998	34.39903	139.4877
456	13.3793	1.4835	0.074742	0.164491	6.353098	318.7134
439	9.608	3.5308	0.10408	1.297518	8.846794	279.2578
438	6.067	2.0222	0.164826	0.674022	14.01022	225.2796
455	13.6198	6.828	0.073423	3.423074	6.240914	318.6671
454	6.7652	3.5716	0.147815	1.88558	12.5643	225.4352
471	10.5965	4.3261	0.094371	1.766163	8.021517	269.7155
472	4.2381	2.7111	0.235955	1.734283	20.05616	171.3268
483	4.3118	3.3582	0.231922	2.615499	19.71334	165.7242
498	13.876	4.1262	0.072067	1.226977	6.125685	291.7515
482	12.2433	5.7023	0.081677	2.655838	6.942573	279.0748
497	2.2475	2.2475	0.444939	2.2475	37.8198	115.2091
496	3.3033	5.6321	0.302728	9.602685	25.73184	138.7522
495	3.5869	4.8305	0.278792	6.505264	23.69734	145.3091
481	2.32	3.1037	0.431034	4.152135	36.63793	120.7592
480	13.876	4.1262	0.072067	1.226977	6.125685	296.4294
479	4.8404	3.9909	0.206594	3.290489	17.56053	175.9209
468	1.0223	5.0026	0.978186	24.4801	83.14585	83.01875
451	1.8347	2.6176	0.545048	3.734578	46.3291	116.1182
452	2.7131	2.3898	0.368582	2.105025	31.32948	141.9321
469	4.5223	3.6267	0.221126	2.908465	18.79575	176.0022
470	8.9981	4.5301	0.111135	2.280682	9.446439	247.0098
453	14.0479	3.2042	0.071185	0.730849	6.050726	322.5098
436	11.7812	1.17904	0.084881	0.117996	7.214885	313.224
435	4.3778	1.8974	0.228425	0.82236	19.41615	191.423
416	11.5686	1.4041	0.086441	0.170418	7.347475	322.4929

417	2.0301	2.871	0.492587	4.060214	41.86986	133.9967
437	13.516	7.6867	0.073986	4.371512	6.288843	330.3981
418	1.1061	1.4286	0.904077	1.84513	76.84658	100.7716
401	4.1964	2.1341	0.238299	1.085307	20.25546	202.1748
381	3.8598	1.5455	0.259081	0.618833	22.02187	201.6494
365	1.2738	2.8787	0.785053	6.505663	66.72947	122.9484
363	10.9642	0.9335	0.091206	0.079479	7.752504	363.0654
344	1.0712	1.5178	0.933532	2.150595	79.35026	116.1263
343	1.6577	1.2883	0.603245	1.001217	51.27586	145.8032
420	14.2487	5.1531	0.070182	1.863639	5.965456	343.7738
419	11.4306	4.4306	0.087484	1.717339	7.43618	315.6365
421	1.6682	3.4338	0.599449	7.068087	50.95312	120.6509
403	12.7335	4.488	0.078533	1.581823	6.675305	348.845
404	0.8096	1.3421	1.235178	2.224842	104.9901	86.75496
402	3.0715	1.4843	0.325574	0.717287	27.67378	172.9195
383	12.2846	6.0648	0.081403	2.994139	6.919232	359.1188
384	5.6667	2.2634	0.17647	0.90405	14.99991	241.2643
367	3.4894	1.6357	0.286582	0.766755	24.35949	199.1616
366	7.9984	1.368	0.125025	0.233975	10.62713	305.6319
346	4.8011	1.9126	0.208286	0.761917	17.70428	245.6032
347	6.7895	1.2799	0.147286	0.241276	12.51933	293.0472
329	2.3259	2.7282	0.429941	3.200084	36.54499	178.4184
328	1.9299	2.2705	0.518162	2.671211	44.04373	165.1848
309	7.0756	2.9053	0.141331	1.19294	12.01312	330.4176
310	9.4671	3.8018	0.105629	1.526728	8.978462	380.8391
292	9.4432	3.8136	0.105896	1.540108	9.001186	394.0934
293	2.4323	1.2584	0.411133	0.651059	34.94635	199.1641
272	1.515	1.8692	0.660066	2.30621	56.10561	157.4808
xtra/249	1.3718	1.198	0.728969	1.04622	61.96239	148.7463

271	4.9002	1.209	0.204073	0.29829	17.34623	299.5485
270	2.2066	1.2881	0.453186	0.751927	38.5208	201.5028
291	9.5922	1.5383	0.104251	0.246697	8.861367	403.6645
290	12.6272	2.1582	0.079194	0.368873	6.7315	467.3901
269	3.1712	1.5801	0.315338	0.78731	26.80373	245.6401
268	9.2616	1.3728	0.107973	0.203483	9.17768	416.8885
289	1.1925	1.7235	0.838574	2.490945	71.27883	143.8153
267	1.737	1.5859	0.575705	1.447944	48.93495	181.5123
288	0.7917	1.3983	1.263105	2.469677	107.3639	119.9645
266	2.5461	2.2671	0.392758	2.018673	33.38439	218.3615
287	3.3214	1.9743	0.301078	1.173559	25.59162	238.8413
305	2.2513	1.8211	0.444188	1.473107	37.75596	190.9134
306	3.7675	2.0623	0.265428	1.128887	22.56138	243.5344
307	1.068	1.3047	0.93633	1.59386	79.58801	127.1592
308	12.3992	2.9294	0.08065	0.692092	6.855281	433.8708
327	8.973	4.0653	0.111445	1.841821	9.472863	355.7684
345	4.8423	3.426	0.206513	2.423946	17.55364	248.4404
365	1.3084	1.4153	0.764292	1.530934	64.96484	124.1476
382	10.404	2.6204	0.096117	0.659986	8.169935	337.1332
400	2.9081	3.1753	0.343867	3.467051	29.22871	168.5584
399	12.922	1.6325	0.077387	0.206242	6.577929	352.349
398	2.0268	1.2189	0.493389	0.733036	41.93803	140.0637
397	9.3363	2.4369	0.107109	0.636064	9.104249	306.0521
376	1.1672	4.8882	0.856751	20.47164	72.82385	110.828
396	4.4913	3.5784	0.222653	2.851056	18.92548	206.8092
395	2.3204	1.9841	0.43096	1.696541	36.63162	148.0957
394	7.6742	2.5412	0.130307	0.841482	11.07607	263.3548
393	10.5766	1.2508	0.094548	0.147921	8.036609	307.0778
392	1.9945	1.967	0.501379	1.939879	42.6172	130.0427

410	2.0127	2.0503	0.496845	2.088602	42.23183	129.564
411	5.922	2.5359	0.168862	1.085915	14.35326	223.0615
412	3.0627	1.9353	0.326509	1.222903	27.75329	161.2575
413	12.5343	2.69938	0.079781	0.581337	6.781392	327.7815
414	12.4604	6.1478	0.080254	3.033245	6.821611	328.4822
434	10.7975	2.4311	0.092614	0.547372	7.872193	301.0339
433	2.5305	8.6149	0.395179	29.32879	33.5902	143.6033
450	13.7351	2.9826	0.072806	0.647677	6.188524	317.4029
467	4.2015	2.1049	0.23801	1.054529	20.23087	167.2498
xtra/432	12.833	2.3822	0.077924	0.44221	6.623549	318.1614
359	7.6317	3.3947	0.131032	1.510016	11.13775	293.6333
360	5.7547	1.8342	0.173771	0.584616	14.77054	260.4722
339	2.2056	1.5087	0.453391	1.031998	38.53827	108.3434
340	6.5147	3.749	0.153499	2.157429	13.04742	286.8439
321	2.7094	2.178	0.369085	1.750825	31.37226	191.8537
322	1.2077	2.3157	0.82802	4.440231	70.38172	128.7627
303	1.5774	2.2878	0.633955	3.318137	53.88614	156.985
304	9.1914	1.4254	0.108797	0.221051	9.247775	381.7076
286	1.4218	1.1305	0.703334	0.898882	59.78337	156.7236
285	1.1574	7.2902	0.864006	45.91932	73.44047	141.799
265	1.5572	1.874	0.642178	2.25525	54.58515	171.2716
264	2.9772	1.8491	0.335886	1.148452	28.55032	248.2257
240	1.7237	1.4338	0.580147	1.192657	49.31253	189.624
241	1.574	1.8573	0.635324	2.19159	54.00254	181.2256
222	1.3508	2.8836	0.740302	6.155722	62.92567	177.5409
223	2.1926	2.0407	0.45608	1.899323	38.76676	226.7376
504	1.53027	3.13403	0.653479	6.418569	55.54575	80.57519
478	2.1538	2.3622	0.464296	2.590765	39.46513	100.1607
446	2.3004	3.5638	0.434707	5.52107	36.9501	117.6133

476	1.2499	2.138	0.800064	3.657128	68.00544	83.74191
503	13.554	6.0473	0.073779	2.698084	6.271211	252.2109
525	3.175	1.417	0.314961	0.632406	26.77165	152.2469
568	1.877	0.4967	0.532765	0.131439	45.28503	72.78203
580	5.7928	3.6893	0.172628	2.34963	14.67339	122.6583
579	1.7698	1.2922	0.565036	0.943486	48.02803	68.78294
578	2.2456	2.327	0.445315	2.411351	37.8518	79.40986
577	4.551	1.4747	0.219732	0.47786	18.67721	114.9641
566	4.7146	1.4382	0.212107	0.438726	18.0291	123.45
567	2.6063	2.0638	0.383686	1.634221	32.61328	89.75216
565	1.2018	1.8115	0.832085	2.730514	70.72724	65.08814
xtra/543	12.5903	2.9034	0.079426	0.669542	6.751229	220.6503
xtra/522	9.7061	2.2413	0.103028	0.517553	8.757379	202.3047
501	9.2874	7.806	0.107673	6.560893	9.152185	217.2779
475	2.1058	3.351	0.474879	5.332511	40.36471	112.3193
444	13.6782	1.5318	0.073109	0.171544	6.214268	306.6577
407	2.7599	1.7236	0.362332	1.076415	30.79822	147.2407
xtra	3.6523	3.18	0.2738	2.768776	23.27301	192.2413
369	2.0573	1.9416	0.486074	1.832407	41.31629	141.7175
xtra/406	4.5499	1.2962	0.219785	0.369268	18.68173	206.1946
405	9.6391	1.6544	0.103744	0.283952	8.818251	297.2536
442	3.0635	1.4319	0.326424	0.669279	27.74604	152.8619
474	11.1804	2.8127	0.089442	0.707603	7.60259	265.9816
380	3.6675	1.6729	0.272665	0.76308	23.17655	200.6044
379	2.9332	1.7022	0.340925	0.987824	28.97859	180.9664
378	2.7871	1.4602	0.358796	0.765019	30.49765	175.4103
377	1.3252	1.7234	0.754603	2.241252	64.14126	120.8253
375	3.3234	1.3946	0.300897	0.585217	25.57622	184.6109
xtra	3.0047	1.7028	0.332812	0.964997	28.28901	161.2953

391	5.1209	1.1501	0.195278	0.2583	16.59864	200.851
xtra/390	4.1356	1.6458	0.241803	0.654961	20.55324	203.6804
354	2.4718	1.9276	0.404563	1.503213	34.3879	152.853
355	2.1752	1.4796	0.459728	1.006444	39.07687	149.0495
372	1.3732	2.7852	0.728226	5.649096	61.89921	112.8849
356	3.2423	1.8072	0.308423	1.007301	26.21596	186.2227
357	2.2833	4.9162	0.437963	10.58513	37.22682	157.6845
358	11.2647	4.7663	0.088773	2.016708	7.545696	350.8978
338	1.9628	2.0019	0.509476	2.041779	43.30548	154.3718
337	1.7349	1.8576	0.576402	1.988978	48.99418	144.3596
xtra	3.0047	1.7028	0.332812	0.964997	28.28901	191.0143
319	2.2497	1.2115	0.444504	0.652412	37.78282	167.682
320	4.1276	4.2409	0.242272	4.35731	20.59308	234.8415
318	8.8876	4.6331	0.112516	2.415232	9.563887	337.5908
317	1.844	3.0718	0.542299	5.117112	46.09544	151.8556
316	8.4234	3.0593	0.118717	1.111109	10.09094	321.0094
298	3.1115	1.7065	0.321388	0.935929	27.31801	202.4482
299	3.052	1.6815	0.327654	0.926423	27.85059	203.5872
300	13.0924	1.6815	0.07638	0.215961	6.492316	429.0266
301	2.3411	2.0737	0.42715	1.836842	36.30772	183.5462
302	12.0033	2.2609	0.08331	0.425855	7.081386	417.6963
361	7.6226	2.0019	0.131189	0.525753	11.15105	299.0827
341	12.0831	2.1008	0.08276	0.365251	7.034619	395.9495
323	1.1832	3.4638	0.845166	10.14022	71.83908	129.3592
324	3.5066	2.6664	0.285177	2.027516	24.24	220.5215
325	4.5298	3.333	0.22076	2.452402	18.76463	252.9698
326	3.3899	4.0527	0.294994	4.845092	25.07449	195.9614
342	4.0505	2.8113	0.246883	1.951218	20.98506	228.0807
xtra	0.9462	3.03	1.056859	9.702917	89.83302	67.9945



500	1.6886	1.0842	0.592207	0.696133	50.33756	94.98402
443	12.3137	3.9302	0.08121	1.254414	6.902881	298.6175
473	2.4773	1.3827	0.403665	0.771751	34.31155	130.9601
415	3.6796	1.6634	0.271769	0.751957	23.10034	183.0781
242	1.0657	1.1891	0.93835	1.326789	79.75978	151.6872
243	1.8271	1.1859	0.547315	0.769722	46.52181	196.4022
244	1.7054	1.3951	0.586373	1.14126	49.84168	191.2897
245	10.9278	4.1727	0.09151	1.593315	7.778327	474.3592
225	2.4294	1.465	0.411624	0.883438	34.98806	229.9949
246	7.1795	1.2894	0.139285	0.231569	11.83926	379.0458
247	1.6977	1.4563	0.589032	1.249225	50.06774	182.3017
326	1.8514	1.8514	0.540132	1.8514	45.9112	198.3868
205	1.0036	1.3161	0.996413	1.725906	84.6951	152.9767
207	12.5533	1.2328	0.07966	0.121067	6.771128	529.6719
186	12.479	2.809	0.080135	0.632301	6.811443	564.1042
167	1.2844	1.175	0.778574	1.074918	66.17876	190.0458
148	1.6191	1.2161	0.617627	0.913408	52.4983	223.7879
134	10.7869	3.9423	0.092705	1.440797	7.879928	603.1079
113	5.007	3.0394	0.19972	1.845007	16.97623	428.5057
101	11.8213	1.3314	0.084593	0.149952	7.190411	699.8508
81	2.1146	2.2127	0.472903	2.315351	40.19673	297.4307
100	5.256	3.1163	0.190259	1.847665	16.17199	469.6799
80	1.4383	1.5001	0.695265	1.564555	59.09755	254.8329
68	1.011	1.2648	0.98912	1.582314	84.07517	216.8793
67	3.4509	4.2245	0.289779	5.171521	24.63126	426.4972
78	0.9861	1.2625	1.014096	1.616374	86.19815	222.74
79	1.1521	1.4601	0.86798	1.85044	73.77832	235.9126
99	3.1554	1.9505	0.316917	1.205695	26.93795	374.7942
132	12.9286	4.7821	0.077348	1.768829	6.574571	693.2072

111	1.71505	1.5117	0.583073	1.332461	49.56124	254.8112
112	4.4255	2.1469	0.225963	1.041505	19.20687	409.491
133	9.1124	5.6207	0.109741	3.466954	9.327949	573.4965
147	5.282	4.3787	0.189322	3.629878	16.09239	418.6367
166	2.1388	4.6925	0.467552	10.29529	39.74191	349.7739
146	11.0949	3.5946	0.090132	1.164603	7.661178	611.9712
165	2.1539	2.6876	0.464274	3.353542	39.4633	257.9771
185	1.4644	1.8305	0.682874	2.288125	58.04425	202.2085
204	1.9101	3.6705	0.523533	7.053332	44.50029	218.0424
228	12.3148	3.176	0.081203	0.819094	6.902264	528.4486
203	11.5727	4.0332	0.08641	1.40561	7.344872	537.23
184	8.6669	4.619	0.115382	2.461683	9.807428	489.7493
183	1.1562	1.2664	0.864902	1.387103	73.51669	180.8606
202	1.0769	0.9187	0.928591	0.78374	78.93026	167.9132
182	1.2509	1.3857	0.799424	1.535026	67.95108	190.5163
164	13.9062	2.8277	0.07191	0.574987	6.112382	666.488
163	3.6271	2.4586	0.275702	1.666542	23.4347	343.0489
144	5.8938	1.1146	0.16967	0.210786	14.42193	450.9044
145	12.576	6.3286	0.079517	3.184731	6.758906	660.0542
131	12.6056	5.4802	0.07933	2.38248	6.743035	687.583
110	3.3143	1.7218	0.301723	0.894486	25.64644	372.1414
xtra	1.70616	5.1631	0.586112	15.62433	49.81948	273.51
98	1.573	3.0964	0.635728	6.095164	54.03687	270.6317
109	2.2868	5.6245	0.437292	13.83374	37.16984	313.6174
97	2.8346	1.1715	0.352783	0.484164	29.98659	360.8879
77	2.0108	1.4865	0.497315	1.098907	42.27173	317.5208
66	0.9603	1.5151	1.041341	2.390428	88.51401	226.1552
96	1.8477	4.7323	0.541213	12.12029	46.00314	227.1578
76	3.1065	3.494	0.321906	3.929836	27.36198	395.1322

65	2.7105	1.0922	0.368936	0.440104	31.35953	384.3147
52	2.1123	7.0191	0.473418	23.32423	40.2405	346.928
53	1.7871	1.5289	0.559566	1.308005	47.56309	319.5243
45	1.1569	2.224	0.864379	4.27537	73.47221	261.4683
44	3.5679	1.6348	0.280277	0.74906	23.82354	468.1033
130	11.5119	0.7497	0.086867	0.048823	7.383664	667.7679
201	0.8313	1.1847	1.202935	1.688336	102.2495	147.3982
221	13.4519	3.0306	0.074339	0.682769	6.31881	561.9362
220	2.8397	1.8997	0.35215	1.27086	29.93274	258.5012
199	2.2642	1.9552	0.441657	1.68837	37.54085	243.7837
200	1.3959	1.1137	0.716384	0.888551	60.89261	172.306
181	0.9984	1.3747	1.001603	1.892829	85.13622	168.2682
180	4.4859	1.4353	0.222921	0.459236	18.94826	356.4384
161	2.9588	1.0534	0.337975	0.375034	28.72786	307.4216
162	1.2955	1.13705	0.771903	0.99798	65.61173	205.2955
143	0.9175	1.2668	1.089918	1.749081	92.64305	146.8949
129	10.3836	3.1513	0.096306	0.956382	8.185986	633.3776
142	2.1974	4.0505	0.455083	7.466347	38.68208	280.9683
128	2.1558	3.4176	0.463865	5.417938	39.42852	286.6299
108	11.3381	4.2863	0.088198	1.62041	7.496847	547.2452
107	3.4837	0.53	0.287051	0.080633	24.39935	383.0227
95	11.4049	1.5249	0.087682	0.203888	7.452937	724.6864
75	10.8809	4.6464	0.091904	1.984122	7.811854	751.1979
64	2.0252	2.8476	0.493778	4.003963	41.97116	331.2828
51	2.5021	1.6356	0.399664	1.069177	33.97146	376.1162
50	1.9601	3.289	0.510178	5.518862	43.36513	331.5017
42	4.1875	2.1761	0.238806	1.130844	20.29851	496.8239
xtra	1.8105	3.0306	0.552334	5.072928	46.94836	332.7758
35	5.1125	3.9515	0.195599	3.054152	16.62592	557.7232

33	2.1304	1.3376	0.469395	0.83983	39.89861	364.0384
34	3.1541	1.0147	0.317048	0.326437	26.94905	435.0322
41	4.3154	3.3477	0.231728	2.597	19.6969	499.5001
49	3.6802	1.5025	0.271724	0.613419	23.09657	447.0704
48	1.9225	1.1886	0.520156	0.734861	44.21326	315.9117
61	1.887	2.143	0.529942	2.43373	45.04505	301.944
47	1.6329	1.3881	0.612407	1.18	52.05463	282.9518
60	14.1752	2.2399	0.070546	0.353939	5.996388	812.0411
59	3.1108	1.5215	0.321461	0.744169	27.32416	371.2045
xtra	2.9825	1.3579	0.335289	0.618237	28.49958	380.0536
127	1.5318	1.6994	0.652827	1.885338	55.49027	242.589
106	3.0589	1.0023	0.326915	0.32842	27.78777	352.849
94	0.8665	2.1194	1.154068	5.183908	98.09579	194.6741
74	12.3713	2.4292	0.080832	0.476992	6.870741	783.3636
63	1.0267	1.6145	0.973994	2.538824	82.78952	231.2433
62	5.313	2.7361	0.188218	1.409043	15.99849	522.1061
72	2.8198	1.1358	0.354635	0.457494	30.14398	358.3341
xtra	4.4532	1.8928	0.224558	0.804521	19.0874	486.3781
71	2.5031	1.6001	0.399505	1.02286	33.95789	325.7159
70	4.63	1.5924	0.215983	0.547676	18.35853	427.2141
91	2.3649	1.65926	0.422851	1.164169	35.94232	310.5433
90	2.3649	1.65926	0.422851	1.164169	35.94232	302.1537
103	2.1977	1.8717	0.455021	1.594058	38.6768	287.8569
102	3.5366	1.1074	0.282757	0.346755	24.03438	353.6768
123	1.5042	2.0545	0.664805	2.806123	56.50844	224.4586
122	1.7027	3.6083	0.587303	7.646578	49.92071	234.5612
124	3.3507	2.2143	0.298445	1.463313	25.36783	344.6188
137	1.7513	1.3694	0.571004	1.07078	48.53537	229.9269
138	1.1682	2.3871	0.856018	4.8778	72.76151	189.72

157	3.1694	3.0249	0.315517	2.886988	26.81896	306.1555
156	1.2353	1.4649	0.80952	1.737175	68.8092	187.2111
176	3.8467	1.5188	0.259963	0.599671	22.09686	318.5203
175	1.9558	1.22881	0.5113	0.772049	43.46048	224.9752
174	2.5825	2.2417	0.387222	1.945874	32.91384	250.0362
xtra	3.2509	1.6348	0.307607	0.822102	26.14661	287.145
xtra	2.152	2.34715	0.464684	2.559997	39.49814	238.6289
173	2.3766	1.2431	0.420769	0.650214	35.76538	238.449
153	4.5029	1.1087	0.222079	0.272983	18.87672	322.8255
177	2.3405	1.7854	0.427259	1.361954	36.31703	252.566
xtra	1.1337	1.2219	0.882068	1.316962	74.97574	143.4657
219	2.397	1.572	0.417188	1.030949	35.46099	236.9768
218	3.4712	1.1604	0.288085	0.387914	24.48721	284.3367
197	11.5268	1.7494	0.086754	0.265503	7.374119	540.108
178	2.0716	2.8244	0.482719	3.85076	41.03109	243.2146
158	3.4315	4.7961	0.291418	6.703359	24.77051	320.1187
159	7.8177	7.0649	0.127915	6.38459	10.87276	488.4469
160	0.9386	1.3045	1.065417	1.813041	90.56041	171.5401
179	5.468	1.5326	0.182882	0.429565	15.54499	354.2085
xtra	10.2875	2.8408	0.097205	0.784461	8.262454	549.2223
198	2.8334	3.9912	0.352933	5.622107	29.99929	277.0365
140	9.2483	2.7503	0.108128	0.817896	9.190878	558.8309
141	1.3393	1.5779	0.746659	1.859007	63.46599	213.6483
139	1.2385	4.0959	0.807428	13.54574	68.63141	203.1746
126	9.3418	4.428	0.107046	2.098866	9.098889	587.4417
125	2.5211	2.8268	0.396652	3.169568	33.71544	311.2008
104	12.4824	1.5448	0.080113	0.191182	6.809588	703.8487
92	2.1745	2.8304	0.459876	3.684141	39.08945	307.3073
93	13.8463	4.7226	0.072221	1.610752	6.138824	782.2161

105	1.3076	5.6394	0.76476	24.32153	65.00459	231.865
238	6.7633	1.7268	0.147857	0.440885	12.56783	368.7801
263	3.1143	1.8746	0.321099	1.128384	27.29345	236.6871
284	2.8251	2.0503	0.35397	1.487993	30.08743	217.5796
283	2.3551	3.7255	0.42461	5.893317	36.09189	193.5454
282	5.404	1.9214	0.185048	0.683157	15.72909	289.5835
261	1.0631	1.8484	0.940645	3.213792	79.95485	133.5133
262	1.3806	1.6372	0.724323	1.941492	61.56743	159.3628
217	1.7325	2.0623	0.577201	2.454881	49.06205	194.1037
196	1.4036	1.4453	0.712454	1.488239	60.55856	180.5441
237	4.8787	1.6724	0.204973	0.573292	17.42267	311.8107
215	4.5958	1.7777	0.21759	0.687632	18.49515	310.3173
216	2.5567	2.7338	0.391129	2.923168	33.24598	235.9353
195	4.2448	2.4465	0.235582	1.410046	20.0245	318.6374
194	1.0229	1.7757	0.977613	3.082521	83.09708	151.5952
193	3.7222	1.4694	0.268658	0.58007	22.83596	290.9001
214	4.7609	1.974	0.210044	0.818475	17.85377	311.3572
192	2.7219	1.6243	0.36739	0.969305	31.22819	237.556
172	2.0644	1.5761	0.484402	1.203299	41.17419	213.0293
191	1.4446	3.8289	0.692233	10.14847	58.83982	169.6992
174	11.6647	3.9734	0.085729	1.353477	7.286943	467.1584
211	3.9325	1.5511	0.254291	0.611802	21.61475	262.4795
234	5.1073	2.7066	0.195798	1.434355	16.64284	288.8709
172	2.3762	2.1738	0.42084	1.98864	35.7714	204.7986
176	4.2821	6.2085	0.23353	9.001535	19.85007	274.3447
236	3.758	2.4268	0.266099	1.567152	22.61841	271.5507
260	3.7863	3.7863	0.26411	3.7863	22.44936	255.1355

## BIODATA PENULIS



Penulis lahir di Madiun, 30 Maret 1995, merupakan putri kedua dari 2 bersaudara. Pendidikan formal telah ditempuh di SDN 03 Klegen Madiun, SMP N 1 Madiun, SMAN 2 Madiun. Penulis melanjutkan studi S1 di jurusan Fisika Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya dengan jalur masuk SNMPTN tahun 2013, terdaftar dengan NRP.1113100038. Penulis mengambil program studi

Geofisika, Fisika ITS, tertarik dengan bidang Petrophysics (Processing) dan GeoHazard. Selama kuliah penulis aktif di sebagai asisten Laboratorium Fisika Dasar I dan II (2016). Dan sempat mengikuti beberapa kompetisi seperti PMW dan PKM. Selain itu penulis juga aktif di beberapa organisasi di kampus sebagai Staff Hubungan Luar Himasika ITS (2014-2015), Staff PSDM BEM ITS Kabinet Kolaborasi (2014-2015), Ketua Badan Koordinasi Pemandu BEM FMIPA (2015-2016), Sekertaris Badan Koordinasi Pemandu ITS BEM ITS Kabinet Wahana Juang (2016-2017). Selama di kampus penulis aktif di beberapa pelatihan manajemen mahasiswa (LKMM) sebagai pemandu LKMM Pra TD dan LKMM TD. Apabila ingin berdiskusi lebih jauh dengan penulis terkait tugas akhir, dapat menghubungi melalui: [devianaambar33@gmail.com](mailto:devianaambar33@gmail.com).